

ANALISA NUMERIK *CONTACT STRESS* DAN GESEKAN *CAPSULE ENDOSCOPY* DI DALAM USUS KECIL

Qomaruddin¹

¹Progdi Teknik Mesin Fakultas Teknik UMK
Gondang Manis, PO. Box 53 – Bae, Kudus
*Email: qomaruddin71@gmail.com

Abstrak

Salah satu alat yang digunakan untuk menganalisa penyakit pada organ dalam adalah *capsule endoscopy* yang berfungsi sebagai perekam gambar dari saluran pencernaan. Gerakan *capsule endoscopy* di dalam tubuh berjalan secara peristaltik maka kenyamanan merupakan faktor utama. Sehingga perlu pengembangan desain *capsule endoscopy* dengan memperbandingkan beberapa bentuk. Tujuan pemodelan ini untuk menganalisa *contact stress* dan gesekan *capsule endoscopy* di dalam usus kecil. Pemodelan dengan analisa yang dilakukan merupakan pengembangan *contact stress* dan gesekan dari Kim yang telah dilakukan secara eksperimen. Pemodelan dengan *finite element analysis (FEM)* dilakukan untuk mengetahui *contact stress* dan gesekan pada proses laju *capsule endoscopy* di dalam usus kecil. Pembuatan geometri, kondisi batas, sifat material dan pemberian beban awal digunakan sebagai masukan awal simulasi *FEM* dan hasilnya berupa nilai *contact stress* dan gesekan sebagai pembanding dengan hasil eksperimen. Hasil pemodelan analitik dan pemodelan *FEM* memiliki pengaruh yang berbeda terhadap perubahan nilai *contact stress* dan gesekan yang terjadi. Perubahan jari-jari fillet merubah tinggi rendahnya nilai *contact stress* dan *friction* yang terjadi, beserta merubah waktu kontakannya. Semakin besar jari-jari filletnya maka nilai *contact stress* dan *friction* semakin rendah. Hasil analisa *contact stress* menghasilkan prediksi tegangan yang meningkat tajam pada tahap awal kontak sampai pada titik tertentu.

Kata kunci: *capsule endoscopy*, geometri, gesekan, usus kecil

1. PENDAHULUAN

Capsule endoscopy (pillcam) adalah inovasi utama yang memberikan pencitraan beresolusi tinggi dari usus kecil seluruh secara keseluruhan. Dalam 4 tahun sejak diperkenalkan, *capsule endoscopy* telah menunjukkan kelayakan sebagai investigasi lini pertama pada pasien dengan perdarahan *gastrointestinal*, dan memiliki dampak positif pada hasil. Hasil rekaman *capsule endoscopy* juga berguna dalam evaluasi gangguan inflamasi dan neoplastik dari usus kecil (Galmiche JP, 2008).

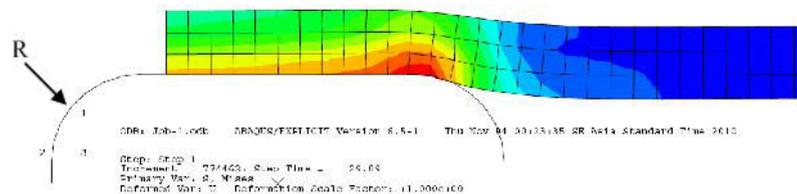
Ukuran dari *capsule endoscopy* sebesar kapsul vitamin yaitu 11 x 26 mm dengan berat 4 gram, yang terdiri dari baterai, perlengkapan lensa, kamera, serta pemancar (Iddan, G., 2000). Setelah kapsul diaktifkan kemudian ditelan dengan segelas air oleh pasien. Lalu alat tersebut mulai mengirimkan gambar 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. 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 *contact stress* 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 *contact stress* yang relatif besar apabila *capsule endoscopy* bergerak di dalam usus kecil karena rongganya relatif lebih kecil dari pada organ internal lainnya (Guyton, Arthur. C., 1996, dan Bode, J. Christian., 1997).

Paper ini bertujuan untuk menghitung tingkat *contact stress* dan gesekan dengan melakukan simulasi menggunakan *finite element method (FEM)*. Uraian hasil paper ini berupa grafik tingkat *contact stress* analisa, *finite element method (FEM)*, gesekan, dan nilai *FEM* dari perubahan bentuk maupun ukurannya. *Finite element method (FEM)*, atau metode elemen hingga adalah suatu

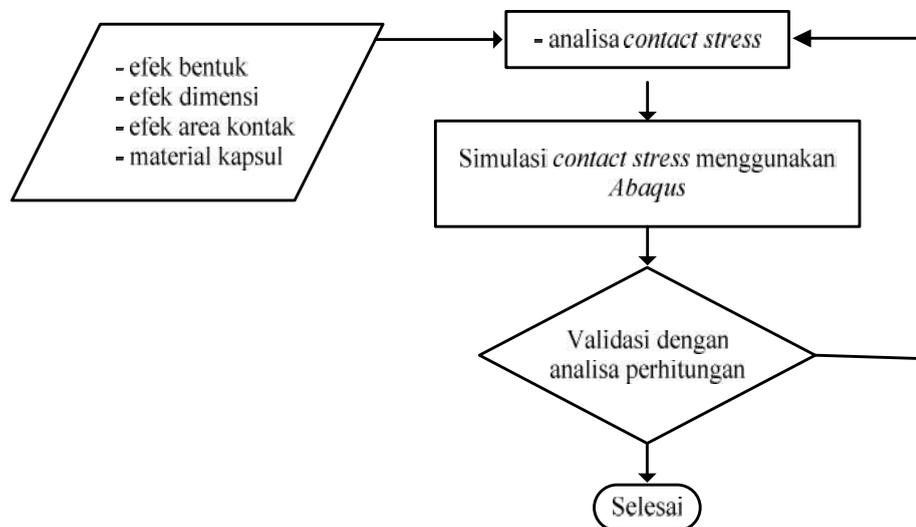
metode analisa perhitungan yang didasarkan pada gagasan dalam membangun suatu obyek yang sangat kompleks dengan beberapa bagian(*blocks*) yang sederhana.

2. METODOLOGI

Langkah awal dalam perhitungan *contact stress* dengan pembuatan geometri model menggunakan *software Abaqus*[5]. Material usus kecil bersifat *viscoelastic*, *modulus elastisitas* (E) = 0.0239 MPa, *Poisson's ratio* (ν) = 0.49 dan densitas = 1.032×10^{-9} Ton/mm³. Permukaan persinggungan memiliki gesekan dengan koefisien gesek (μ) = 0.08. Temperatur dan kecepatan diasumsikan konstan. Tidak ada pengaruh perubahan parameter usus kecil. Material *capsule endoscopy* yang digunakan untuk pemodelan berupa Alumunium. Bentuk kapsul yang dimodelkan adalah ukuran pada jari-jari *fillet*nya yang dibagi dalam 3 bagian, yaitu 1,5 mm, 2 mm, dan 2,5 mm. Laju kapsul yang terjadi pada 5 mm/s, dengan diameter yang tetap 10 mm, serta memiliki panjang 50 mm. Letak ujung jari-jari *fillet* terdapat pada bagian depan dan belakang kapsul. Semakin besar diameter kapsul berpengaruh pada jari-jari *fillet* yang ada.



Gambar 1. Bentuk model *capsule endoscopy*.



Gambar 2. Diagram alir perhitungan *contact stress*.

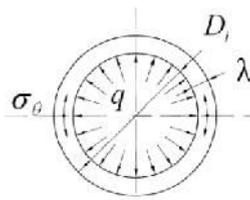
Langkah awal perhitungan dimulai dari beberapa efek bentuk, karena bentuk sangat berpengaruh terhadap *contact stress* yang terjadi. Selanjutnya efek dimensi dan area *contact stress* akibat perubahan jari-jari filet (R) (jari-jari *contact stress* dengan dinding usus). Setelah mendapatkan data dari efek-efek tersebut kemudian memasukkan data tersebut pada rumus dalam menganalisa *contact stress*. Selain analisa lewat perhitungan rumus dilakukan juga simulasi model dengan penggunaan *software Abaqus*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

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* (x) sehingga dapat dituliskan dengan persamaan(1)(Kim, J. S., 2007).

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

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

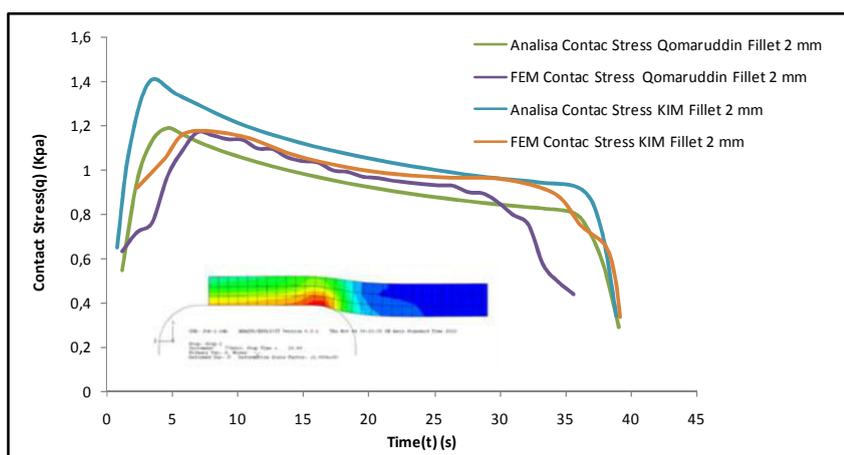


Gambar 3. Potongan usus kecil dimodelkan sebagai *vessel* (Kim, 2007).

3.1 HASIL ANALISA DAN FEM CONTACT STRESS

Hasil analisa yang didapat dari beberapa efek yang dilakukan berupa grafik *contact stress* (q) terhadap waktu (t). Hasil analisa *contact stress* menghasilkan prediksi *contact stress* yang meningkat tajam pada tahap awal *contact stress* 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 dan FEM oleh Kim dkk(Kim, J. S., 2007), dapat dilihat dalam gambar 4.

Analisa yang dihasilkan oleh Kim dkk. menunjukkan nilai *contact stress* yang lebih rendah pada sisi awal dimana besarnya 0,648 KPa dibandingkan dengan nilai yang dilakukan pada FEM sebesar 0,917 KPa. Selanjutnya nilai *contact stress* semakin berubah, dimana untuk nilai analisa lebih besar sampai pada nilai tertinggi 1,395 KPa dan nilai tertinggi pada FEM 1,167 KPa. Nilai-nilai tersebut merupakan nilai *contact stress* pada awal laju dari *capsule endoscopy* dalam memasuki rongga di usus kecil. Gambar 3, tersebut juga menggambarkan sifat yang terjadi pada usus kecil yaitu *contact stress* yang terjadi semakin menurun seiring berjalannya waktu.



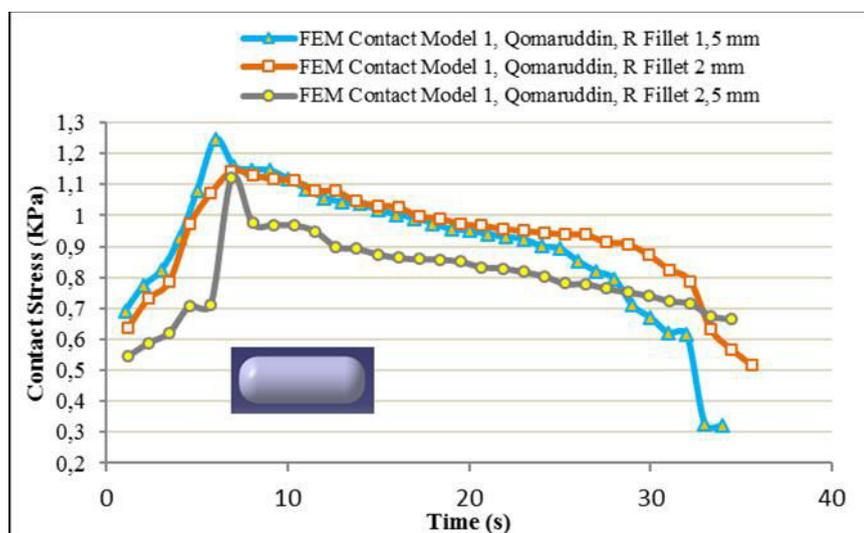
Gambar 4. Grafik perbandingan hasil perhitungan analitik *contact stress* dan FEM yang dilakukan oleh Kim dkk, serta penulis.

Hasil perhitungan yang telah dilakukan oleh penulis memiliki nilai yang lebih rendah dibanding dengan analisa yang dihasilkan oleh Kim dkk. Awal pergerakan menunjukkan nilai *contact stress* yang lebih rendah pada sisi awal dimana besarnya 0,547 KPa. Nilai tersebut

mencapai puncak pada 1,160 KPa pada waktu 5,749 detik. Nilai yang dihasilkan ini ternyata lebih rendah dibanding dengan milik Kim dkk. Sehingga hasil analisa tersebut secara keseluruhan memiliki nilai *contact stress* yang lebih rendah.

3.2 HASIL FEM CONTACT STRESS DENGAN JARI-JARI FILLET 1,5 MM, 2 MM DAN 2,5 MM.

Hasil pemodelan dengan menggunakan FEM terjadi tekanan *contact stress* maksimum pada tiap jari-jari *fillet* dan besarnya juga bervariasi antara yang satu dengan yang lain. Variasi besar tekanan pada jari-jari *fillet* 1,5 mm, menunjukkan grafik puncak *contact stress* yang tajam. Dapat disimpulkan bahwa besar tekanan *contact stress* maksimum pada jari-jari *fillet* 1,5 mm sebesar 1,246 KPa. Tekanan *contact stress* akhir tersebut juga paling tinggi nilainya sebesar 0,692 KPa. Akan tetapi seiring berjalannya waktu tempuh nilai tekanan *contact stress* menurun dan nilai akhirnya menunjukkan nilai terendah sebesar 0,323 Kpa. Pada jari-jari *fillet* 2 mm bentuk grafik lebih landai dan tidak mengalami nilai puncak yang tajam. Besar nilai tekanan *contact stress* puncaknya 1,144 KPa dan waktu tempuhnya yaitu 36,799 detik. Sedangkan pada jari-jari *fillet* 2,5 mm, grafiknya menunjukkan tekanan *contact stress* terendah dari ketiganya. Besar nilai tekanan *contact stress* puncaknya 1,121 KPa dan waktu tempuhnya paling cepat yaitu 34,499 detik. Akan tetapi nilai *contact stress* akhir sepanjang waktu tempuh memiliki nilai yang paling besar yaitu 0,665 KPa.



Gambar 5. Hasil pemodelan FEM *contact stress* dengan variasi jari-jari *fillet*.

3.3 HASIL PEMODELAN FEM PADA GAYA GESEK (FRICTIONAL FORCE)

Pada sisi lain, berat kapsul dapat mempengaruhi gaya gesek secara langsung akibat adanya penambahan tekanan normal pada bidang *contact stress*. Komponen gesekan dalam kaitannya dengan berat kapsul dapat dihitung menggunakan persamaan (Baek, N. K., 2004):

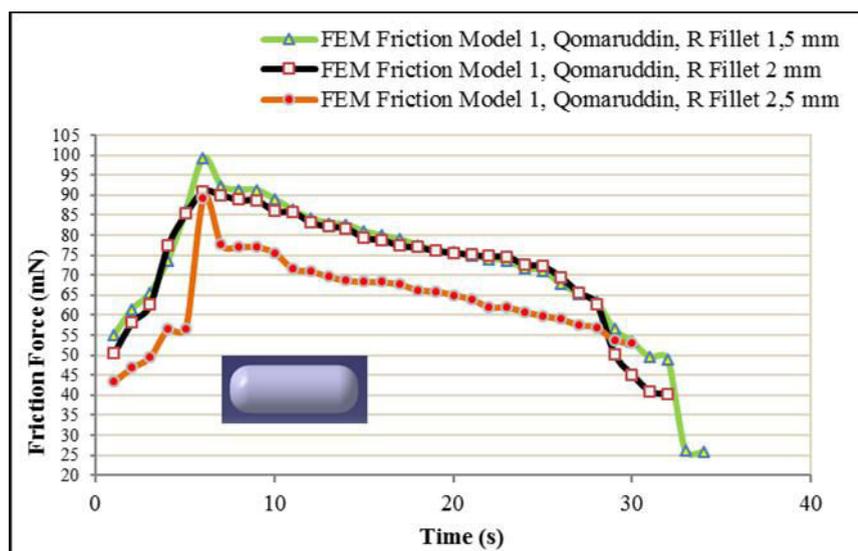
$$F_w = \frac{\mu q_w \pi D_i L}{z} \tag{2}$$

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

Pada pemodelan FEM gaya gesek (*frictional force*) model *capsule endoscopy* memiliki alur grafik yang sebangun dengan pemodelan FEM *contact stress*. Hasil yang didapat dari penelitian ini mempunyai kecenderungan yang sama, yaitu gaya gesek (*frictional force*) pada awalnya naik pada titik puncak dan selanjutnya mengalami penurunan yang kontinyu (gambar 6). Nilai tertinggi gaya gesek (*frictional force*) pada *model capsule endoscopy* dihasilkan oleh jari-jari *fillet* 1,5 mm sebesar 99,167 mN pada waktu 6,899 detik. Dan gaya gesekan (*frictional force*) yang terjadi juga mengalami waktu tempuh yang paling lama yaitu 35,649 detik. Bentuk grafik serupa terjadi pada jari-jari *fillet* 2,5 mm, dimana besar gaya gesek (*frictional force*) yang terjadi 89,276 mN dan waktu

tempuh yang terjadi ternyata paling cepat yaitu sebesar 31,049 detik. Sedangkan pada jari-jari *fillet* 2 mm bentuk grafiknya landai dan tidak setajam dibandingkan dengan jari-jari *fillet* 1,5 mm dan 2,5 mm.

Grafik tersebut juga memberi gambaran perjalanan gaya gesek (*frictional force*) *capsule endoscopy* yang berbeda. Pada jari-jari *fillet* 1,5 mm dan 2,5 mm terlihat gaya gesek (*frictional force*) yang terjadi hampir mendekati kesamaan setelah melewati titik puncak dari keduanya akan tetapi waktu tempuhnya berbeda. Sedangkan bila dibandingkan dengan jari-jari *fillet* 2,5 mm dengan kedua sebelumnya menunjukkan gaya gesek (*frictional force*) yang terjadi rata-rata lebih rendah termasuk waktu tempuh yang dilakukan oleh perjalanan gaya gesek (*frictional force*) *capsule endoscopy*.



Gambar 6. Hasil pemodelan FEM *frictional force* pada model *capsule endoscopy* dengan variasi jari-jari *fillet*.

4. KESIMPULAN

Jika dibandingkan hasil perhitungan secara analitik dan FEM yang dilakukan oleh Kim dkk. dan yang dilakukan oleh penulis pada model *capsule endoscopy* yang berbentuk silinder halus dengan jari-jari *fillet* 2 mm seperti gambar (4) memperlihatkan nilai *contact stress* yang berbeda namun *trend* grafiknya sama. Hal ini disebabkan terdapat perbedaan parameter material propertis yang digunakan penulis dan Kim dkk.

Perubahan jari-jari *fillet* merubah tinggi rendahnya nilai *contact stress* dan *friction* yang terjadi, beserta merubah waktu kontakannya. Dimana semakin besar jari-jari *fillet*nya maka nilai *contact stress* dan *friction* semakin rendah. Begitu juga dengan waktu terjadinya *contact stress* dan *friction* akan lebih cepat. Hasil analisa *contact stress* 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.

DAFTAR PUSTAKA

- Galmiche JP, Coron E, Sacher-Huvelin S, 2008, *Recent developments in capsule endoscopy*, Gut.;57:695–703.
- Iddan, G., Meron, G., Glukhovsky, A., and Swain, P., 2000, *Wireless Capsule Endoscopy*, Nature. 405, 417.
- Guyton, Arthur. C., and Hall, John. E., 1996, *Text Book of Medical Physiology*, Edition 9th, Departemen of Pysiology and Biopysics University of Mississippi. Mississippi.
- Bode, Christiane., and Bode, J. Christian., 1997, *Alcohol's Role in Gastrointestinal Tract Disorders*, Vol. 21, pp. 76-83.
- ABAQUS/Standard User's Manual, 2002, Hibbit, Karlsson and Sorensen, Inc, Pawtucket, Rhode Acknowledgement Island.

- 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.
- 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.