

Peningkatan Unjuk Kerja Desain *Flexible Shield* untuk Pompa Sabun Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Willyanto

Dosen Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra
E-mail: willy@peter.petra.ac.id

Abstrak

Flexible shield adalah bagian sistem pompa untuk mengeluarkan suatu produk sabun cair, disamping itu *flexible shield* juga berfungsi untuk memproteksi pompa sabun dari kemasukan air. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa desain *flexible shield* yang ada saat ini belum sepenuhnya berhasil. Hal ini disebabkan gaya reaksi vertikal pada *flexible shield* yang terjadi belum cukup untuk mengembalikan *flexible shield* ke posisi semula dengan sendirinya setelah mencapai deformasi 9 mm. Sedangkan kebutuhan desain *flexible shield* adalah dapat kembali keposisi semula dengan sendirinya setelah mencapai deformasi 10 mm.

Pada percobaan sesungguhnya, agar *flexible shield* dapat kembali ke posisi semula, keadaan tersebut digambarkan dengan tidak adanya nilai *minimum turning point* pada grafik gaya sebagai fungsi perpindahan (*force against displacement graph*). Pada simulasi dengan menggunakan metode elemen hingga (ANSYS 5.7), kondisi tersebut diilustrasikan dengan grafik gaya sebagai fungsi perpindahan, sama seperti pada percobaan sesungguhnya. *Minimum turning point* pada *force against displacement graph* ini menggambarkan mekanisme penguncian yang menyebabkan *flexible shield* tidak dapat kembali ke posisi semula setelah terjadinya deformasi 9 mm. Untuk meniadakan pengaruh mekanisme penguncian selama proses deformasi, maka pada *force against displacement graph* haruslah tidak terdapat *minimum turning point*.

Kombinasi material dan geometri adalah dua faktor yang sangat berpengaruh pada performansi desain *flexible shield* yang baru. Dengan menggunakan analisa dari Metode Elemen Hingga, dapat diketahui *force against displacement graph* dari setiap desain baru yang akan dibuat, sehingga dapat diketahui performansi dari setiap desain yang ada. Pada akhirnya desain baru dapat diketahui unjuk kerjanya dengan posisi *minimum turning point* 11 mm (melebihi dengan kebutuhan desain yang ditentukan).

Kata kunci: *flexible shield*, metode elemen hingga, *minimum turning point*, grafik gaya sebagai fungsi perpindahan.

Abstract

The flexible shield is a part of the pump system that dispenses soap-product. The function of the flexible shield is to protect the soap pump from intruding water. Investigation on performance of the current design flexible shield found that the current design of the flexible shield has not succeeded yet because there are not enough vertical reaction force in the upper part of the flexible shield after the deformation 9 mm to return to its rest position by itself (the requirement is 10 mm deformation).

In the real experiment, the product must contain enough vertical reaction force on the upper part area of the flexible shield to return to its rest position independently. At that situation, there is no minimum turning point in the force against displacement graph. In the Ansys simulation, this condition is illustrated by the same graph force against displacement as the real experiment. To eliminate the locking mechanism during the deformation, the discontinuity should not exist, which means there should be no minimum turning point in the force against displacement graph.

The combination of material and geometry are two very influencing factors to the performance of new design flexible shield. From the analysis using Finite Element Method, it is discovered that the displacement position of the minimum turning point in the force against displacement graph of the new design concept is bigger than the current design, which matches our requirement. The force-displacement relationship graphs the minimum turning point position (11 mm displacement).

Keywords: *flexible shield*, finite element method, *minimum turning point*, *force against displacement graph*.

1. Pendahuluan

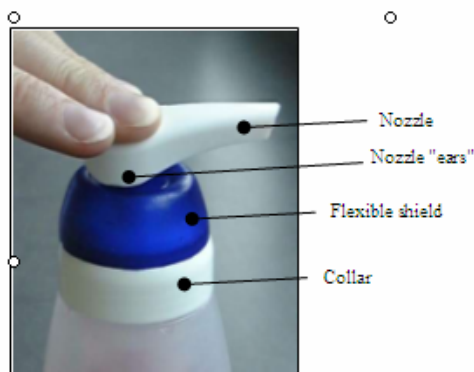
Proses desain untuk membuat suatu produk adalah suatu proses yang sangat menarik untuk dilakukan dan proses desain makin populer di kalangan masyarakat. Desain *flexible shield* yang

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Februari 2005. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 7 Nomor 1 April 2005.

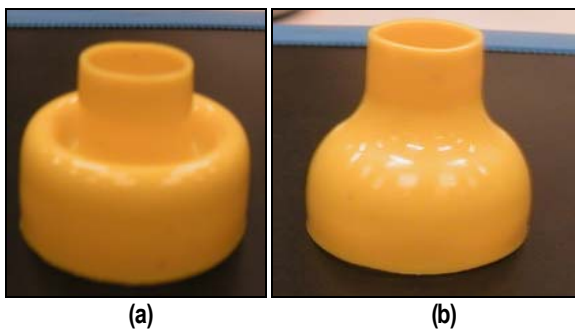
merupakan bagian sistem pompa sabun adalah suatu proses yang sangat menarik untuk dilakukan

karena sifat *nonlinear geometry* dan *nonlinear material* dari penelitian ini.

Flexible shield adalah bagian sistem pompa untuk mengeluarkan suatu produk sabun cair. Hasil penelitian sebelumnya oleh Airspray (Sumber: Referensi No 16) yang dilakukan dengan percobaan setiap 1 mm perubahan deformasi, desain *flexible shield* yang ada saat ini tidak dapat kembali ke posisi semula dengan sendirinya setelah mencapai deformasi 9 mm. Sedangkan kebutuhan desain *flexible shield* adalah dapat kembali ke posisi semula dengan sendirinya setelah mencapai deformasi 10 mm.



Gambar 1. Sistem Pompa Sabun



Gambar 2. Hasil dari *flexible shield* setelah proses penekanan (a) *flexible shield* yang tidak diinginkan, (b) *flexible shield* yang diinginkan.

Sebelum penelitian ini, pengujian desain *flexible shield* dikerjakan dengan melakukan penelitian pada percobaan sesungguhnya dan merupakan *trial and error process* untuk semua jenis geometri dan material yang ada dalam mendapatkan hasil yang sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan.

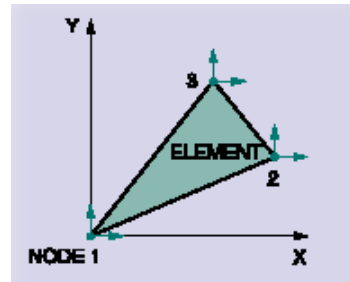
Proses ini tidak perlu dikerjakan lagi karena pada setiap percobaan memerlukan model yang aktual yang banyak menghabiskan waktu dan biaya. Pada penelitian ini akan digunakan *software* metode elemen hingga (ANSYS) untuk mencapai hasil yang diinginkan sehingga percobaan sebenar-

nya yang memerlukan banyak waktu dan biaya tidak diperlukan lagi.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Analisa Struktur Geometri Non Linear

Metode elemen hingga digunakan sebagai metode pendekatan matematika aktual untuk pemecahan masalah yang dapat ditentukan dengan persamaan differensial.

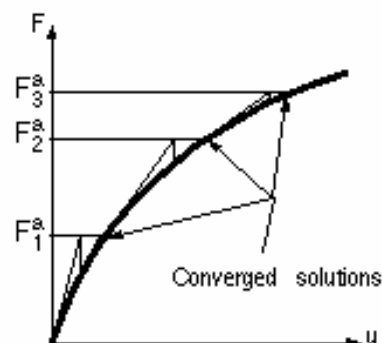


Sumber: ANSYS Tutorial

Gambar 3. Triangular Elements Dengan Pendekatan Metode Elemen Hingga

Ide utama dari metode elemen hingga adalah untuk memecahkan elemen yang sangat kompleks dengan batasan yang tidak ditentukan menjadi suatu elemen dengan batasan yang kecil. Masing-masing elemen diperhitungkan sebagai bagian dalam permasalahan utama, dengan demikian terdapat hubungan antar elemen yang saling berkaitan melalui informasi global tentang deformasi, yang biasanya berhubungan dengan karakteristik elemen.

Pendekatan Newton-Raphson merupakan metode paling banyak digunakan untuk menyelesaikan masalah *nonlinear*. Karena hasil yang didapatkan dalam metode ini terbukti telah memecahkan beberapa kasus *nonlinear* yang ada.



Sumber: ANSYS Tutorial

Gambar 4. Pemecahan masalah *nonlinear geometry* dengan menggunakan metode Newton-Raphson

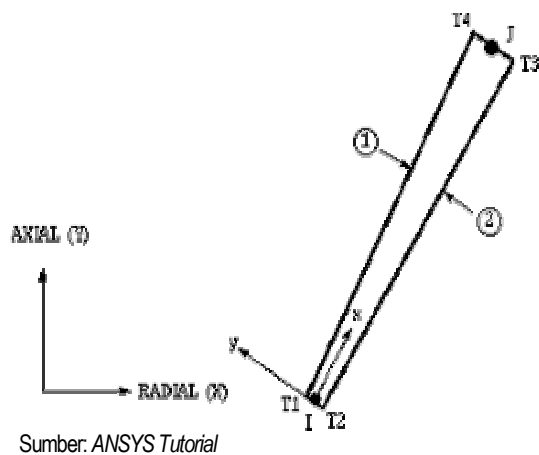
Pada permasalahan *nonlinear* dan deformasi yang cukup besar, perubahan geometri dan sifat

material selama pembebanan berlangsung harus ditentukan. Hal tersebut dapat dipecahkan lebih dari satu langkah iterasi dengan menggunakan hasil terakhir sebagai harga awal untuk langkah selanjutnya hingga hasil yang konvergen diketahui.

2.2 Tipe Elemen

Pemodelan pada metode elemen hingga sangat tergantung pada pemilihan tipe elemen pada *software*. Untuk memilih tipe elemen yang tepat perlu mempertimbangkan geometri dari produk yang akan dilakukan simulasinya. Kemungkinan tipe elemen yang dapat digunakan dalam menyelesaikan masalah ini dapat digambarkan sebagai berikut (gambar 5,6,7, dan8):

2.2.1 SHELL51 Axisymmetric Structural Shell

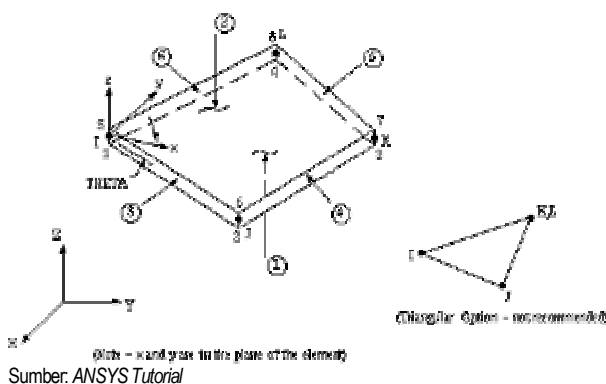


Sumber: ANSYS Tutorial

Gambar 5. SHELL51 Axisymmetric Structural Shell

SHELL 51 memiliki empat derajat kebebasan pada setiap *node*, translasi pada *nodal* koordinat x, y, dan z dan rotasi pada *nodal* z axis.

2.2.2 SHELL43 Plastic Large Strain Shell



Sumber: ANSYS Tutorial

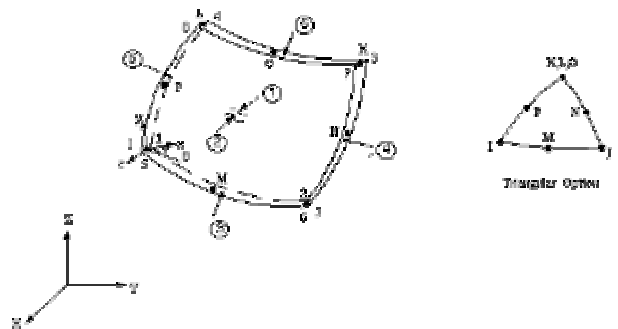
Gambar 6. SHELL43 Plastic Large Strain Shell

SHELL43 adalah pasangan yang baik untuk model *linear*, melengkung dan struktur kekerasan yang lunak. Elemen tersebut mempunyai enam

derajat kebebasan pada setiap *node*, translasi terjadi pada *nodal* x, y, dan z axis.

Shell93 adalah pasangan yang sangat cocok untuk model pada kurva *shell*. Elemen ini mempunyai enam derajat kebebasan pada setiap *node*, Translasi pada *node* terjadi pada arah x, y, dan z serta rotasi terjadi pada *nodal* x, y, dan z axis. Bentuk deformasi yang terjadi adalah kuadratik pada kedua arah bidang.

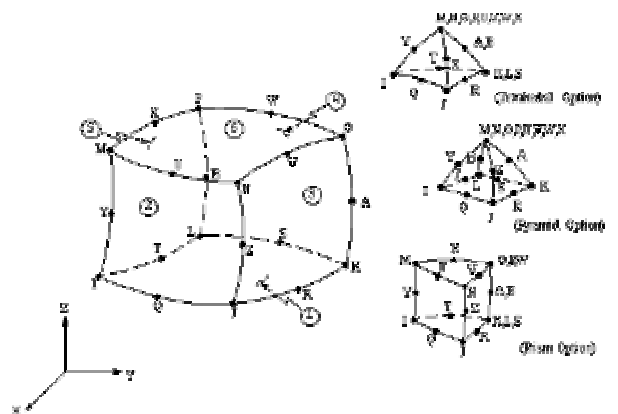
2.2.3 SHELL93 8-Node Structural Shell



Sumber: ANSYS Tutorial

Gambar 7. SHELL93 8-Node Structural Shell

2.2.4 SOLID95 3-D 20-Node Structural Solid



Sumber: ANSYS Tutorial

Gambar 8. SOLID95 Element type 3-D 20-Node Structural Solid

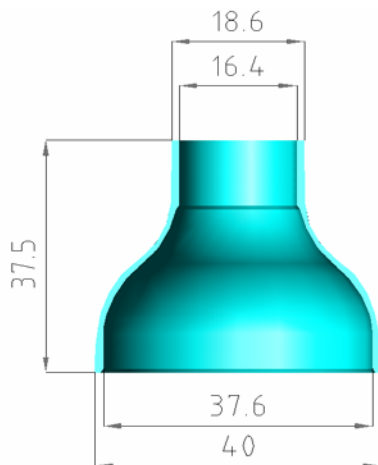
Solid95 dapat memberikan toleransi bentuk yang tidak beraturan dengan akurasi yang sangat tinggi. Elemen tipe *solid95* mempunyai perubahan bentuk yang harmonis dan sangat sesuai untuk model *curved boundaries*. Elemen ini ditentukan oleh 20 *nodes* yang mempunyai tiga derajat kebebasan per *node*, translasi pada *nodal* terjadi pada arah x, y, dan z.

2.3 Pemodelan

Untuk memodelkan *flexible shield* seperti terdapat pada gambar 9, digunakan *solid95 element type 3-D 20-node structural solid*. Penelitian ini

didasarkan pada kemampuan *solid95 element type 3-D 20-node structural solid* untuk memodelkan *nonlinear structural problem* dan *nonlinear material problem*.

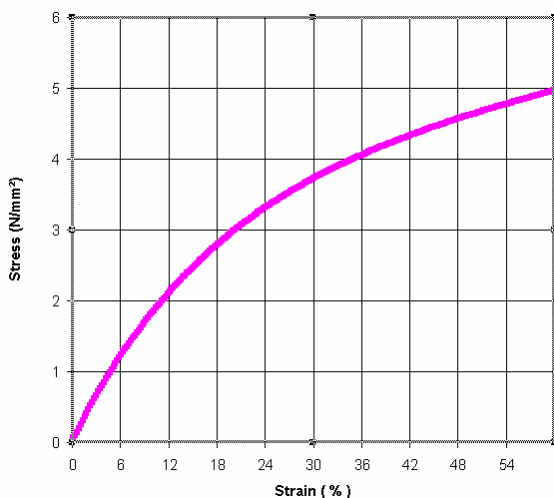
Pemodelan untuk *flexible shield* dilakukan dengan model setengah bagian struktur dikarenakan adanya kesimetrian model, baik geometri maupun pembebanan. Model dibuat dengan cara membuat node-node pada setiap elemen pada struktur spesimen tersebut. Kemudian berdasarkan *node-node* yang dibuat dilakukan pembuatan elemen (*meshing*) sehingga setelah semua elemen dibuat akan didapat suatu struktur *flexible shield*.



Gambar 9. Pemodelan *Flexible Shield* (Satuan:mm)

2.4 Input Data Material

Berdasarkan material properties dari material *flexible shield* yang diuji dan dimodelkan maka dimasukkan material properties seperti yang terdapat pada pengujian tarik (gambar 10).



Sumber: Supplier Desmopan 385

Gambar 10. Hasil Pengujian Tarik dari Material *Flexible Shield* (Desmopan 385)

3. Hasil dan Analisa

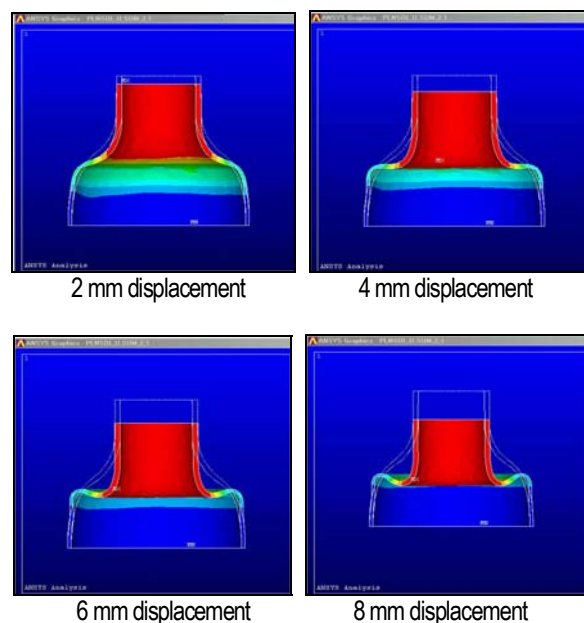
3.1 Pengujian *Flexible Shield*

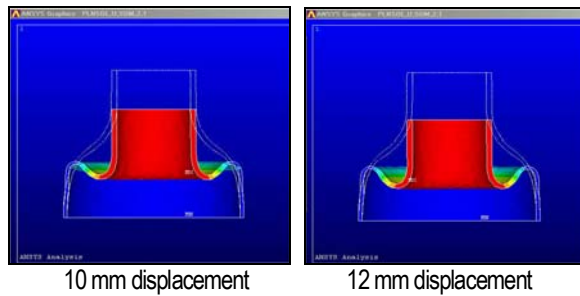
Pengujian unjuk kerja dari *flexible shield* pada kondisi sebenarnya (*real experiment*) dilakukan dengan mesin uji tarik dengan menambah alat bantu pengujian dengan prinsip untuk mengukur gaya reaksi vertikal yang terjadi selama *flexible shield* terdeformasi. Alat dan model pengujian dapat dilihat seperti gambar 11. Pengujian unjuk kerja dari *flexible shield* dilakukan dengan menggunakan program ANSYS untuk mengetahui gaya reaksi vertikal yang terjadi selama *flexible shield* terdeformasi dapat dilihat seperti pada gambar 12.

Dari hasil pengujian sebenarnya dan simulasi untuk mendapatkan grafik gaya sebagai fungsi perpindahan didapatkan hasil seperti gambar 13.

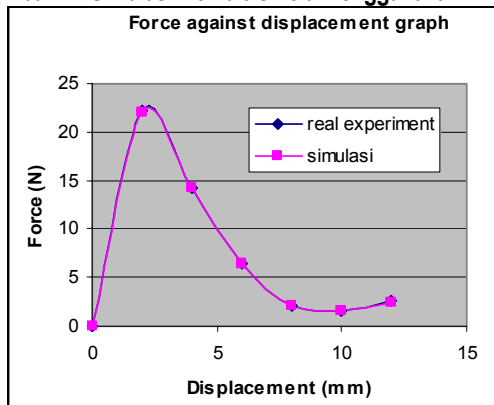


Gambar 11. Pengujian *Flexible Shield* pada kondisi sebenarnya





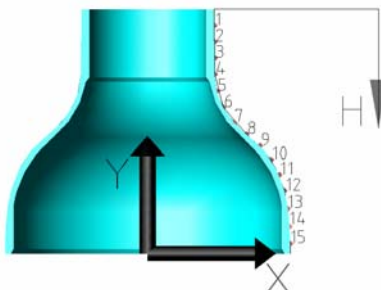
Gambar 12. Simulasi *Flexible Shield* menggunakan ANSYS



Gambar 13. Perbandingan Grafik Gaya Fungsi Perpindahan Dari Pengujian Sebenarnya (*Real Experiment*) Dan Simulasi

Dari hasil pengujian sebenarnya dan simulasi dengan menggunakan program ANSYS, posisi deformasi kritis dari *flexible shield* dapat diidentifikasi. Pada posisi deformasi kritis ini *flexible shield* tidak dapat kembali ke keadaan semula yaitu deformasi dimana terjadinya *minimum turning point* (pada displacement 8,7) pada grafik gaya fungsi perpindahan.

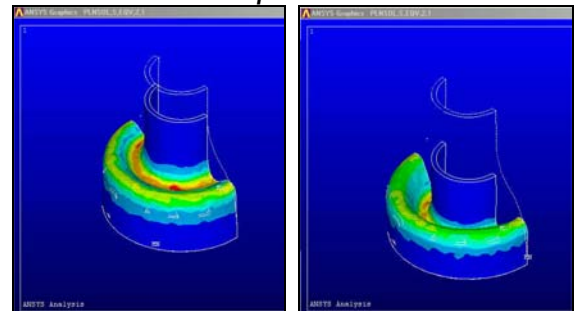
Titik-titik observasi yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 14. Dari pengujian sebenarnya dan simulasi yang dilakukan dengan menggunakan *smart scope flash measurement device* (gambar 15), pada 15 titik observasi selama terjadinya deformasi, didapatkan hasil pengukuran seperti pada gambar 16 dan gambar 17.



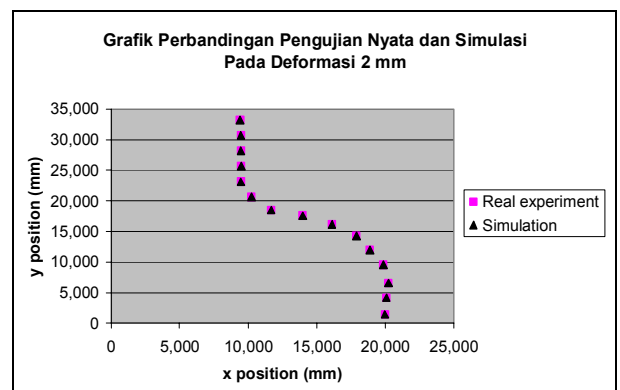
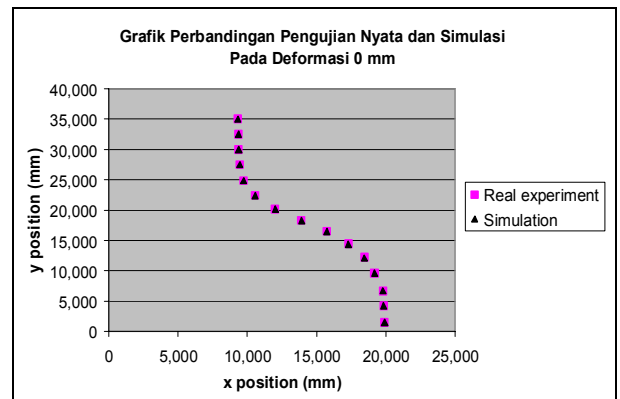
Gambar 14. Titik-titik Observasi pada *Flexible Shield* (Desain Lama)



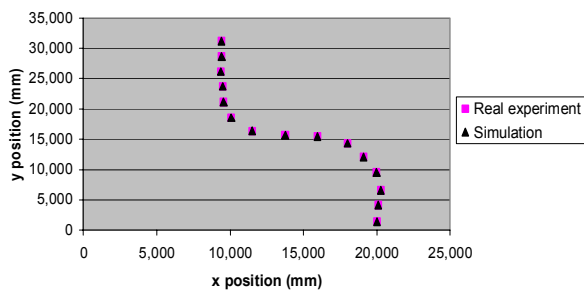
Gambar 15. *Smart Scope Flash Measurement Device*



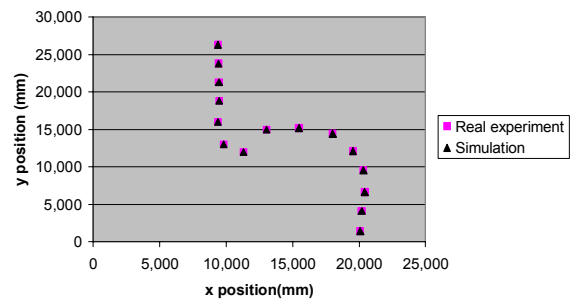
Gambar 16. Simulasi *Flexible Shield* Selama Proses Deformasi dengan ANSYS



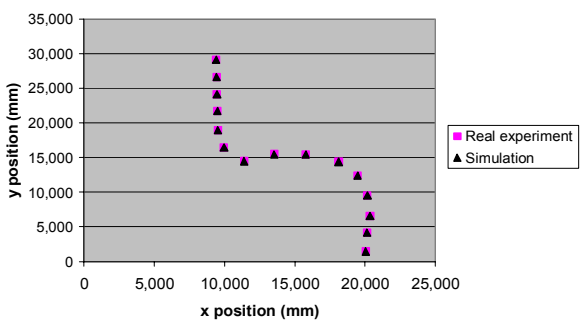
Grafik Perbandingan Pengujian Nyata dan Simulasi
Pada Deformasi 4 mm



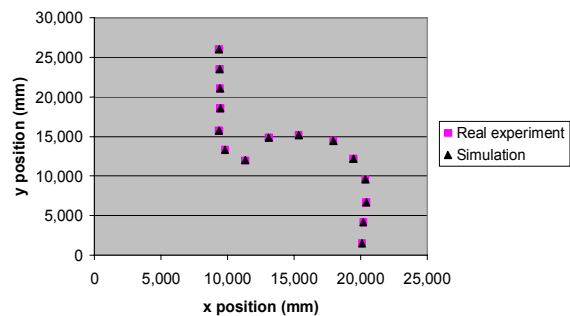
Grafik Perbandingan Pengujian Nyata dan Simulasi
Pada Deformasi 8,75 mm



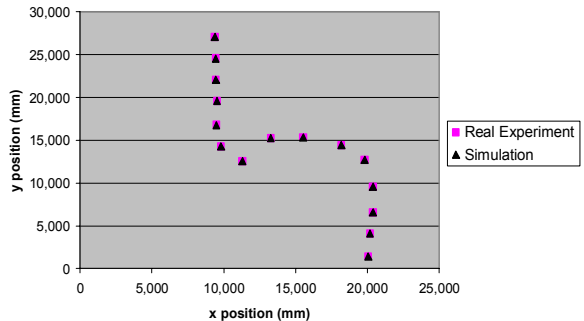
Grafik Perbandingan Pengujian Nyata dan Simulasi
Pada Deformasi 6 mm



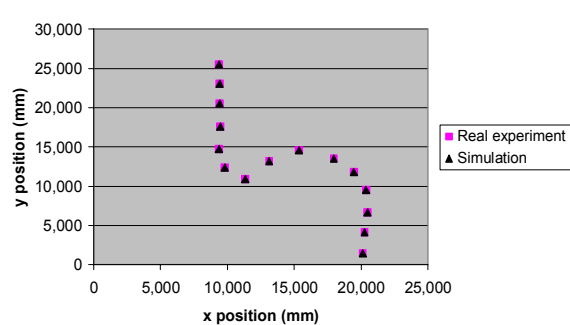
Grafik Perbandingan Pengujian Nyata dan Simulasi
Pada Deformasi 9 mm



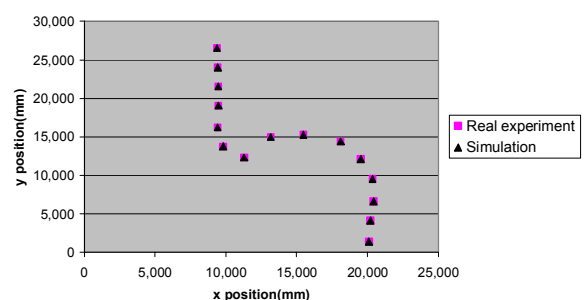
Grafik Perbandingan Pengujian Nyata dan Simulasi
Pada Deformasi 8 mm



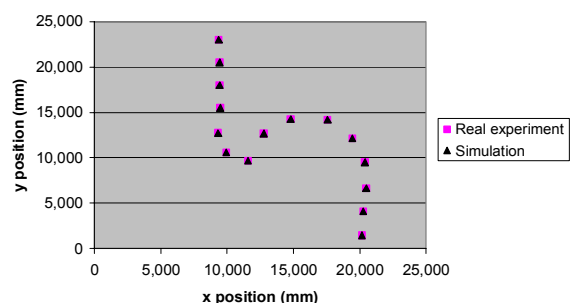
Grafik Perbandingan Pengujian Nyata dan Simulasi
Pada Deformasi 10 mm



Grafik Perbandingan Pengujian Nyata dan Simulasi
Pada Deformasi 8,5 mm

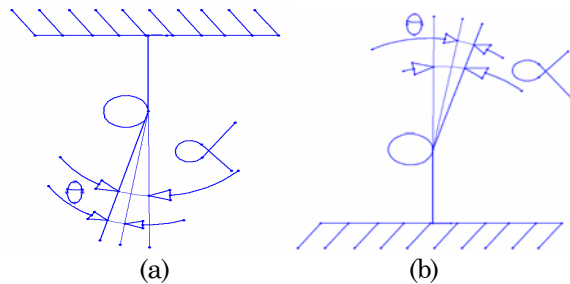


Grafik Perbandingan Pengujian Nyata dan Simulasi
Pada Deformasi 12 mm



Gambar 17. Grafik Perbandingan Pengujian Nyata dan Simulasi Selama Flexible Shield Terdeformasi Mulai 0 sampai 12 mm

Dari gambar 17 dapat diketahui bahwa posisi titik-titik observasi selama deformasi pada *flexible shield* dengan pengamatan menggunakan *Smart scope flash measurement device (real experiment)* dan simulasi didapat hasil yang hampir sama hal ini membuktikan bahwa ANSYS dapat digunakan untuk melakukan pendekatan dari *flexible shield*.



Gambar 18. Sifat Dinding Bagian Bawah (a) dan Dinding Bagian Atas (b) Flexible Shield Selama Proses Deformasi

Pada deformasi 2 mm sampai 8.5 mm, pergeseran dinding bagian bawah dari *flexible shield* pada arah sumbu x meningkat. Dan ini juga berlaku pada deformasi 9 mm sampai dengan 12 mm. Kondisi ini menyebabkan pergeseran sudut α (gambar 18(a)) meningkat. Tren ini berubah pada deformasi 8.75, pada deformasi 8.5 sampai 8.75 pergeseran dinding bagian bawah dari *flexible shield* pada arah sumbu x menurun. Kondisi ini membuat penurunan pergeseran sudut α dari α menjadi $\alpha - \alpha$ selama proses deformasi.

Pada deformasi 2 mm sampai 8.5 mm, pergeseran dinding bagian atas dari *flexible shield* pada arah sumbu x menurun. Dan ini juga berlaku pada deformasi 9 mm sampai dengan 12 mm. Kondisi ini menyebabkan pergeseran sudut α (gambar 18(b)) menurun. Tren ini berubah pada deformasi 8.75, pada deformasi 8.5 sampai 8.75 pergeseran dinding bagian atas dari *flexible shield* pada arah sumbu x meningkat. Kondisi ini membuat peningkatan pergeseran sudut α dari α menjadi $\alpha + \alpha$ selama proses deformasi.

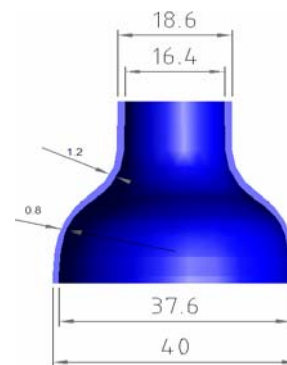
Berdasarkan penjelasan tersebut diatas, dinding bagian bawah dan dinding bagian atas dari *flexible shield* mempunyai sifat seperti pegas torsi seperti digambarkan pada gambar 18. *Discontinuity* dari pergeseran α ini mengilustrasikan adanya perubahan arah dari gaya. Gaya pada dinding bagian bawah *flexible shield* menggambarkan gaya ke arah x negatif dan gaya pada dinding bagian atas *flexible shield* menggambarkan gaya ke arah x

positif. Mekanisme ini menyebabkan mekanisme penguncian (*locking mechanism*) pada *flexible shield*.

Untuk meniadakan pengaruh mekanisme penguncian selama proses deformasi, maka pada *force against displacement graph* haruslah tidak terdapat *minimum turning point*.

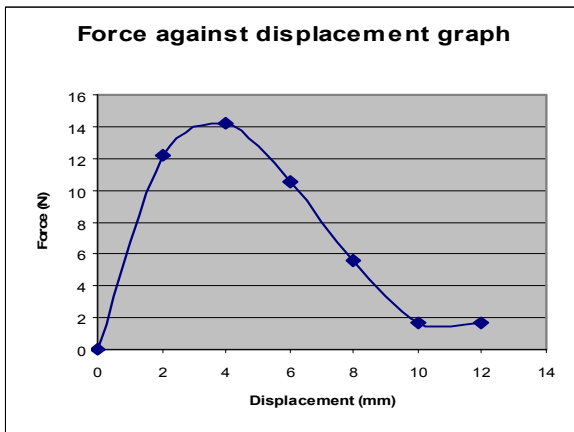
3.2 Tampilan Desain Baru dari Flexible Shield Menggunakan Metode Elemen Hingga

Langkah berikutnya setelah proses validasi selesai dari hasil ANSYS dan telah diketahuinya alasan penyebab desain *flexible shield* yang tidak dapat kembali ke posisi semula dengan sendirinya setelah deformasi 9 mm adalah membuat suatu desain baru dengan melakukan redesain geometri dari *flexible shield* saat ini yang diharapkan dapat berfungsi sesuai spesifikasi yang diinginkan.



Gambar 19. Desain Baru Flexible Shield (Satuan:mm)

Gambar 19 adalah modifikasi dari desain *flexible shield* yang ada saat ini. Konsep desain baru ini adalah mengubah ketebalan bagian leher *flexible shield*. Pada bagian leher atas dari *flexible shield* ini didesain lebih tebal (1,2 mm) dari pada bagian leher bawahnya (0,8 mm), hal tersebut menyebabkan daerah bagian atas pada leher lebih kuat dari pada bagian bawah leher *flexible shield* ini sehingga pada desain ini harapkan *minimum turning point displacement* pada *force against displacement graph* akan lebih besar dari desain yang ada sekarang (*flexible shield* akan dapat kembali dengan sendirinya pada deformasi lebih dari 9mm).



Gambar 20. Force Against Displacement Graph Untuk Desain Baru Dari Hasil Simulasi

Dari gambar 20 dapat dilihat hasil Simulasi dengan desain baru dimana deformasi kritis (*minimum turning point*) berada yang digambarkan oleh *force against displacement graph*. Pada keadaan tersebut *flexible shield* tidak akan dapat kembali pada posisi semula dengan sendirinya. Pada desain *flexible shield* yang baru ini dapat dilihat bahwa posisi dari *minimum turning point* adalah pada deformasi 11 mm (sesuai dengan kebutuhan desain yang diinginkan).

4. Kesimpulan

Pada percobaan nyata, *flexible shield* harus mempunyai gaya reaksi vertikal yang cukup pada bagian atas untuk dapat kembali pada posisi semula. Pada keadaan tersebut tidak ada *minimum turning point* pada *force against displacement graph*. Pada simulasi ANSYS, kondisi ini diilustrasikan oleh *force against displacement graph* yang sama seperti pada percobaan sebenarnya.

Untuk meniadakan pengaruh mekanisme penguncian selama proses deformasi, maka pada *force against displacement graph* haruslah tidak terdapat *minimum turning point*.

Pada desain *flexible shield* yang baru, posisi dari *minimum turning point* adalah pada deformasi 11 mm. Hal ini sesuai dengan kebutuhan desain yang diinginkan.

Daftar Pustaka

1. C.Pastore, Y.Gowayed, "Self-consistent fabric geometry model: modification and application of a fabric geometry model to predict the elastic properties of textile composites," *Journal of Composites Technology & Research* v 16 n 1 Jan 1994. p 32-36, 1994.
2. Budinski, K.G., Budinski M.K., "Engineering Materials Properties and Selection", 7th ed., Prentice Hall, New Jersey, 2002.
3. Msc Software Corporation, Non Linear Finite Element Analysis of Elastomers, 2003.
4. Beaumont, J.P., Nagel, R., Sherman, R., "Successful Injection Molding", Hanser Gardner Publications, 2002.
5. Pastore Christopher, "Engineered Non Linear Elastic Blended Fabrics", Textile Mechanics-Philadelphia University, 2003.
6. Wang, Yong Mei., Staib, L.H., "Elastic Model Based Non Rigid Registration Incorporating Statistical Shape Information", Departments of electrical Engineering and Diagnostic Radiology Yale University, 2003.
7. Ashby. Michael F., "Material Selection in Mechanical Design", Butterworth Heinemann, 2003.
8. Vasek. Milan., Non-linear Problems of the Steel Civil Engineering Structures, Department of Steel Structures, Czech Technical University, Prague, Czech Republic, 2003.
9. Jaarsma. Frank., Design Consideration for Injection Molded Parts, Ticona Corporation, 2003.
10. Shangguan. Webin., Lu Zhen. Hua., Shi Jian. Jun., Finite Element Analysis of Static Elastic Characteristic of the Rubber Isolators in Automotive Dynamic systems, Department of Mechanical Engineering Iowa State University USA, 2003.
11. Friedrich. M., Automotive Shape Optimization Of Elastomeric Product, Technical Journal, 1999.
12. T.Kitano, M.Funabashi, A.Masahiro, E.Aoki, Y.Nagatsuka, Hybrid three dimensional fabric polymer composites, *Materiaux et Techniques*, Apr-May 1994. p 17-21, 1994.
13. K.Padmanabhan, Kishore, Flexural studies on asymmetric hybrid Kevlar fabric/epoxy composites, *Journal of Materials Science*, Volume: 27(16), Page: 4282-4286, 1992
14. Zhang, Y.; Ho, H.; Morton, J., Shear response of a hybrid glass fabric reinforced thermoplastic composite, *European Journal of Mechanical Engineering*, Mar 1994. p 19-26, 1994.

15. Black, Hans., Airspray, Technical report of Flexible Shield project, 2002.
16. B.Cox, C.Carter, M.Dadkah, J.Flintoff, F. Morris and J.Xu, "3D Woven Composites: Fatigue Mechanisms, Data, and Modeling," NASA Advanced Composites Technology, Quarterly Progress Report, pp. 393-419., January-March 1994.
17. C.Pastore, Y.Gowayed, Y.Cai. "Applications of computer aided geometric modelling for textile structural composites," in C. Brebbia, W. de Wilde, and W. Blain, editors, Computer Aided Design in Composite Material Technology, pages 45--53. Computational Mechanics Publications, Southampton, UK, 1990.
18. ANSYS Tutorial. <http://www.ansys.com>.