

ANALISIS LINIER STRUKTUR CANGKANG PADA SILO SEMEN DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Andina Prima Putri

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945

andina.putri@uta45jakarta.ac.id

Cantya Sujak

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

cantyasujak@gmail.com

ABSTRAK

Silo semen adalah tempat penyimpanan semen yang bentuknya hampir menyerupai silinder dengan tinggi sekitar > 40 meter. Silo semen terbuat dari pelat baja dan beton bertulang. Silo merupakan bangunan yang menggunakan struktur cangkang. Analisis struktur pada cangkang yang sering dilakukan pada umumnya hanya terbatas pada kondisi linier, dimana geometri struktur sebelum dan sesudah pembebanan dianggap sama dan propertis bahan dianggap konstan selama pembebanan. Pada penelitian ini struktur cangkang berbentuk cangkang *axisimetri hiperboloidal*. Metode penelitian pada penelitian ini adalah dengan menggunakan analisis *software* perangkat lunak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku (deformasi, tegangan, momen maksimum, ragam getar, dan tekuk) linier struktur cangkang menggunakan metode elemen hingga. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan deformasi terbesar adalah 5,471 m, tegangan terbesar adalah 710310,532 ton/m², dan momen maksimum terbesar adalah 910,433 tm.

Kata Kunci : Struktur Cangkang, Silo Semen, Analisis Linier

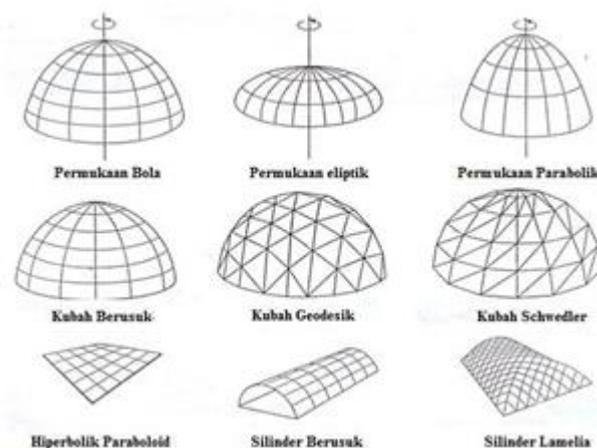
1 PENDAHULUAN

Silo semen adalah tempat penyimpanan semen yang bentuknya hampir menyerupai silinder dengan tinggi sekitar > 40 meter. Silo semen terbuat dari pelat baja dan beton bertulang. Silo merupakan bangunan yang menggunakan struktur cangkang. Kelebihan dari struktur cangkang adalah dapat mereduksi momen sehingga momennya lebih kecil dari penggunaan struktur yang lain. Analisis struktur pada cangkang yang sering dilakukan pada umumnya hanya terbatas pada kondisi linier, dimana geometri struktur sebelum dan sesudah pembebanan dianggap sama dan propertis bahan dianggap konstan selama pembebanan. Analisis dengan anggapan- anggapan tersebut menghasilkan perpindahan dan tegangan yang terjadi pada struktur proporsional secara linier terhadap beban. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku linier struktur cangkang menggunakan metode elemen hingga.

2 PENDAHULUAN

a. Struktur Cangkang

Cangkang adalah lengkung, sehingga beralasan kalau elemen cangkang adalah lengkung (Robert D. Cook, 1990). Cangkang merupakan bentuk structural tiga dimensi yang kaku dan tipis yang memiliki permukaan lengkung (Schodek, 1991). Permukaan cangkang dapat mempunyai bentuk sembarang. Bentuk yang umum adalah permukaan yang berasal dari kurva yang diputar terhadap suatu sumbu (misalnya, permukaan bola, elips, kerucut, dan parabola), permukaan translasional yang dibentuk dengan menggeserkan kurva bidang diatas kurva bidang lainnya (misalnya, permukaan parabola eliptik dan silindris), permukaan yang dibentuk dengan menggeserkan dua ujung segmen garis pada dua kurva bidang (misalnya, permukaan hiperbolik paraboloid dan konoid), dan berbagai bentuk yang merupakan kombinasi dari yang telah disebutkan di atas (Gambar 1). Bentuk cangkang tidak harus selalu memenuhi persamaan matematis sederhana. Segala bentuk cangkang mungkin saja digunakan untuk suatu struktur.



Gambar 1 Macam – Macam Bentuk Cangkang

b. Tekuk (*Buckling*)

Sebagian besar struktur yang mengalami tegangan tekan timbul masalah instabilitas tekuk (*buckling*) oleh karena dimensinya yang langsing atau tipis. Gejala tekuk (*buckling*) dapat terjadi pada sebuah kolom, balok karena *buckling* lateral, pelat dan cangkang (*shell*). Perilaku *buckling* dari beberapa jenis struktur dapat dilihat dari kurva hubungan beban perpindahan. Perbedaan mendasar perilaku kolom, pelat dan cangkang, jika mekanisme pasca kritis dapat dipenuhi maka peningkatan beban di atas beban

kritis dapat dicapai dengan meningkatnya perpindahan. Sedangkan pada cangkang beban maksimum terjadi pada beban kritis, setelah itu terjadi penurunan kekakuan secara signifikan.

c. Analisis Stabilitas Cangkang Linier

Analisis stabilitas linier struktur cangkang bertujuan memperoleh beban tekuk kritis dan hubungannya dengan konfigurasi tertekuk (*buckled configurations*). Dianggap terjadi titik percabangan (*bifurcation point*) dan didalam kondisi kesetimbangan. Anggapannya adalah cangkang dengan geometri dan pembebanan yang sempurna (*perfect geometry and perfect loading system*). Metode analisis stabilitas linier cangkang pada beberapa kondisi :

1. Adanya kondisi awal sebelum terjadinya tekuk.
2. Menurunkan persamaan kinematik, konstitutif serta persamaan kesetimbangan elemen saat tertekuk.
3. Bentuk akhir berupa persamaan diferensial penentu yang mengandung beban tekuk kritis.

Kajian stabilitas disebut kajian nilai karakteristik (*eigenvalue problem*), dengan suatu persamaan matematika dengan tidak nol (*nonzero solutions*) penyelesaian fungsi karakteristik (*eigenvector*). Terdapat hubungan antara solusi nontrivial dengan konfigurasi terdeformasi. *Eigenvalue* merupakan nilai beban tekuk kritis dan besaran *eigenvector* merupakan gambaran dari mode tekuk (*buckling mode*).

d. Aplikasi Metode Elemen Hingga

Elemen yang umum digunakan dalam analisis struktur ditetapkan dari tanggap sistem struktur terhadap beban luar. Dari unsur – unsur elemen yang telah diuraikan, metode elemen hingga merupakan proses permodelan sistem struktur menggunakan elemen – elemen yang dirakit disebut elemen hingga. Setiap elemen yang dirakit secara langsung maupun tidak langsung pada setiap elemen lainya melalui nodal – nodal diujung elemen, permukaan atau perbatasan dengan menggunakan sifat – sifat tegangan atau regangan yang diketahui bagi bahan struktur. Dengan cara ini, maka dapat ditentukan perilaku nodal – nodal dalam suatu sistem struktur. Total persamaan perilaku dari setiap nodal menghasilkan satu seri persamaan aljabar yang dinyatakan dalam notasi matriks. Dibidang teknik sipil, tipikal struktur yang dikaji menggunakan cara elemen hingga termasuk :

1. Analisis tegangan sistem struktur rekayasa sipil : kerangka (rangka dan portal), tegangan bidang, tegangan ruang dan kajian konservasi tegangan secara khusus akibat perubahan – perubahan geometri dalam sistem.
2. Tekuk (*buckling*).
3. Analisis getaran.

3 METODE PENELITIAN

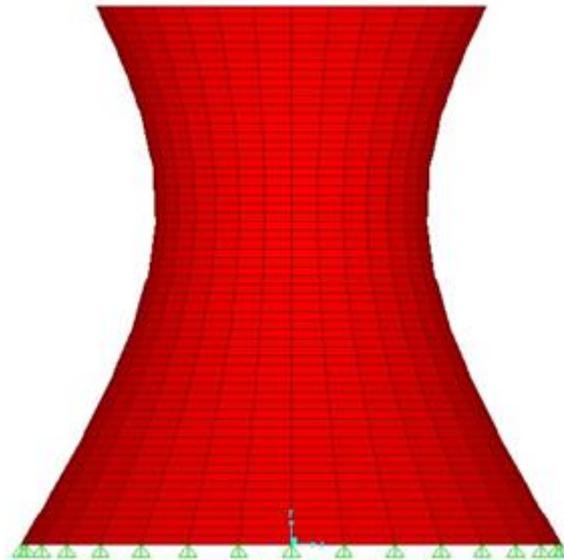
a. Pemodelan Benda Uji

Dalam menentukan pemodelan benda uji dilakukan beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Pengumpulan Data
Data – data yang diperlukan dalam perancangan meliputi data material yang digunakan pada penelitian ini.
2. Studi Literatur
Studi awal yang dilakukan yaitu mengumpulkan referensi yang menjadi acuan dalam pengerjaan penelitian ini mengenai analisis linier struktur cangkang menggunakan metode elemen hingga. Adapun beberapa literatur yang digunakan seperti tertera dalam daftar pustaka.
3. *Preliminary Design*
Pada *preliminary design* penelitian ini didapatkan data awal sebagai berikut :

Data – data struktur bangunan sebagai berikut :

R_0	= 12.7875 m
$R_1 = 2 R_0$	= 25.575 m
Tinggi (H) = $4R_0$	= 51.15 m
$H_0 = 2.5 R_0$	= 31.969 m
Tebal Cangkang (t)	= 2 m atau 200 cm
Modulus Elastisitas (E)	= 2.53×10^6 ton / m ²
Poisson Ratio (ν)	= 0.2
Jenis Tumpuan	= jepit – jepit
Pembebanan	= beban merata dan beban terpusat



Gambar 2 Pemodelan Struktur Cangkang

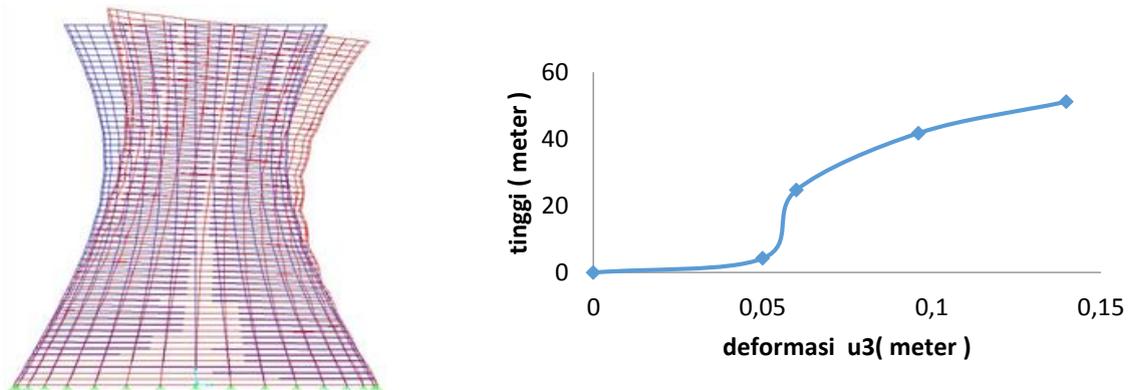
b. Analisis Data

Setelah semua data yang diperlukan pada penelitian ini didapatkan maka setelah itu dilakukan analisis data yang telah diinputkan pada perangkat lunak.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Deformasi

Deformasi yang akan dibahas pada penelitian kali ini adalah hasil deformasi dari kombinasi beban 1 (Beban hidup + beban mati + beban gempa)

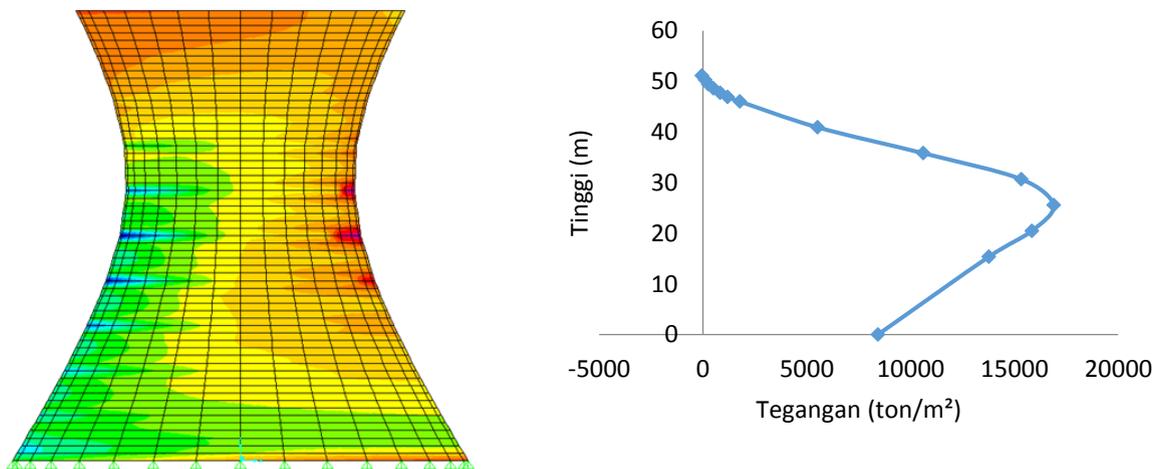


Gambar 4 Hasil deformasi pada kombinasi 1

Setelah memasukan input didapatkan hasil deformasi maksimum pada U1 sebesar 19,1467 m pada elemen 1941, deformasi maksimum pada U2 sebesar 0,8152 m pada elemen 1941, dan deformasi maksimum pada U3 sebesar 5,471 m pada elemen 1941.

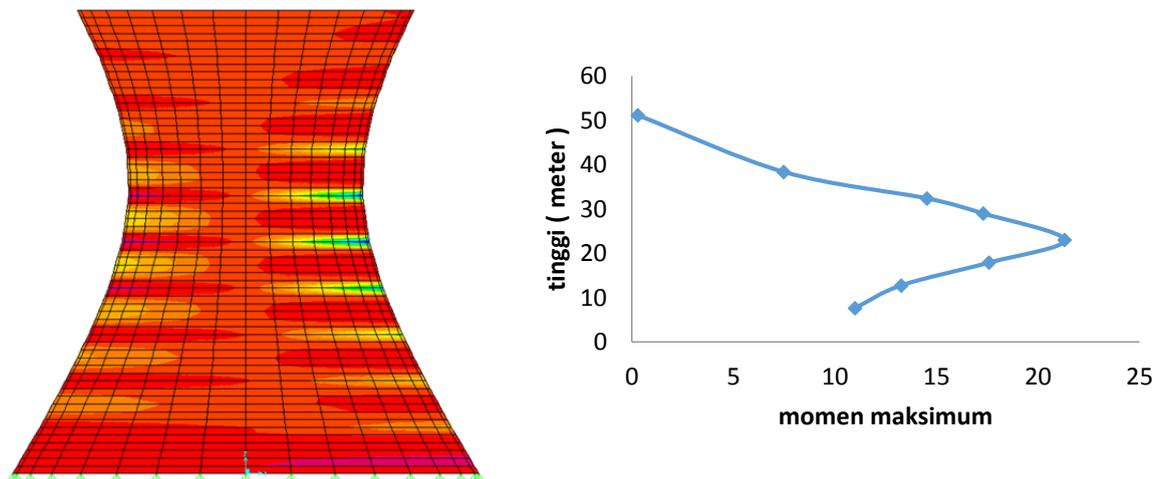
b. Tegangan

Dari kurva seperti Gambar 4, didapatkan hasil tegangan tarik maksimum pada silo semen sebesar 710310,532 m pada elemen 981 yang dilambangkan dengan warna biru tua. Momen maksimum terletak pada ketinggian 25,58 m, dengan diameter 27,066 m.



Gambar 4 Hasil tegangan kombinasi 2 menggunakan perangkat lunak

c. Momen Maksimum

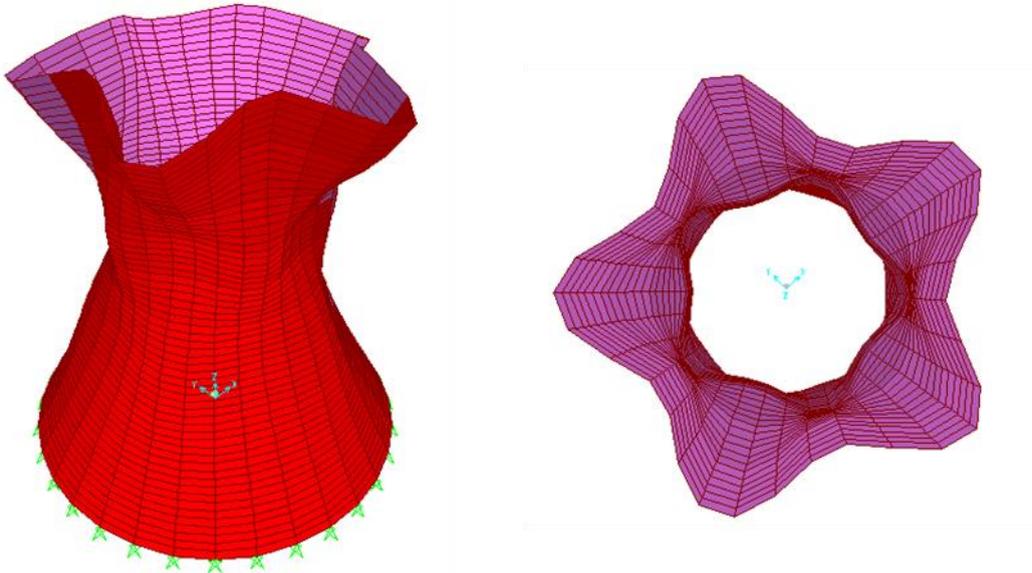


Gambar 5. Momen maksimum kombinasi 2

Dari kurva seperti gambar diatas, didapatkan hasil momen maksimum pada silo semen sebesar 910,433 m pada elemen 1077 yang dilambangkan dengan warna biru tua. Momen maksimum terletak pada ketinggian 28,135 m, dengan diameter 26,352 m.

d. Ragam Getar

Berikut adalah hasil *output* ragam getar yang terjadi pada analisis linier silo semen menggunakan perangkat lunak. Pada hasil *output* ini terdapat 6 mode ragam getar. Dibawah ini adalah salah satu gambar dari keenam mode ragam getar tersebut.



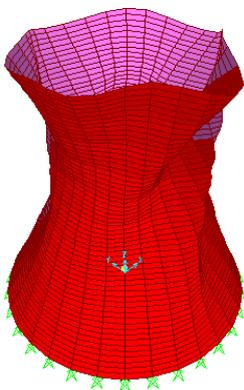
Gambar 6 *Deformed Shape* (MODAL) Mode 3 dari Struktur Cangkang Silo Semen dengan tampak samping dan tampak atas

Tabel 1 Nilai *Period* dari *Deformed Shape*

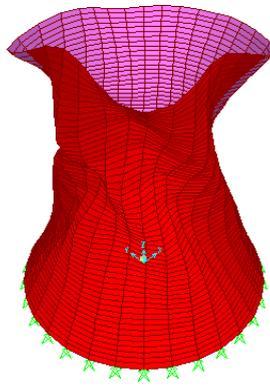
No	<i>Deformed Shape</i> (MODAL)	<i>Period</i>
1	Mode 1	0.30443
2	Mode 2	0.28644
3	Mode 3	0.24837
4	Mode 4	0.22335
5	Mode 5	0.20819
6	Mode 6	0.19497

e. Tekuk (*Buckling*)

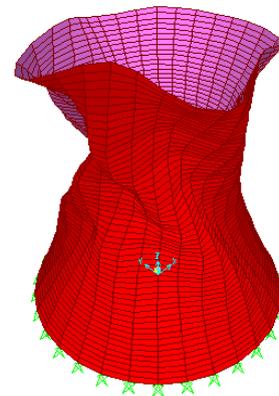
Mode 1



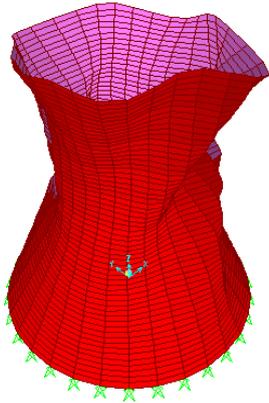
Mode 2



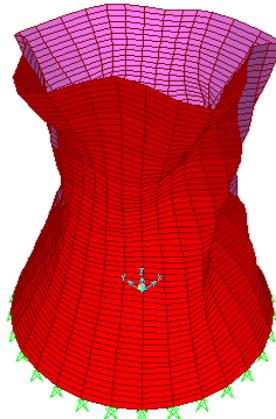
Mode 3



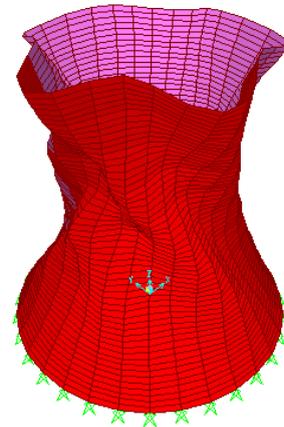
Mode 4



Mode 5



Mode 6



Gambar 7 Tekuk pada beban angin

f. Perhitungan Tulangan

1. Tulangan biasa

Perhitungan Absis dan Ordinat untuk grafik Penulangan Silo :

$$M_u = 83,686 \text{ tm}$$

$$P_u = 772,91 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Absis} &= \frac{M_u}{\varphi \cdot b \cdot h^2 \cdot 0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{83,686}{0,65 \cdot 100 \cdot 200^2 \cdot 0,85 \cdot 250} \\ &= 0,02 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ordinat} &= \frac{P_u}{\varphi \cdot b \cdot h \cdot 0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{772,91}{0,65 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 0,85 \cdot 250} \\ &= 0,28 \end{aligned}$$

Dari grafik kolom didapatkan :

$$\text{Garis lengkung } r = 0,01$$

$$F_c' \quad \beta = 1$$

a. Rasio Tulangan (ρ)

$$\begin{aligned} \rho &= r \times \beta \\ &= 0,01 \end{aligned}$$

b. Luas Tulangan (A_s)

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times h \\ &= 0,01 \times 100 \times 200 \\ &= 200 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

c. Jumlah Tulangan (n)

$$\begin{aligned} n &= \frac{200}{A} \rightarrow A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 3,2^2 \\ &= \frac{200}{8,042} \\ &= 200 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2. Tulangan *Prestress*

$$F11 = 1539,91 \text{ ton}$$

$$n = \frac{F11}{0,7 \cdot f_{pu} \cdot A_{pu} \text{ kips}}$$

Dari tabel $0,7 \cdot f_{pu} \cdot A_{pu}$ kips diambil diameter= 0,6 maka didapat hasil 40,7

$$n = \frac{1539,91}{40,7}$$

$$n = 37,8$$

Jadi diambil jumlah *strand* 38 dengan diameter selongsong dalam 5 – in atau 1,0414 meter.

5 KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

1. Hasil analisis deformasi pada *output* perangkat lunak didapatkan hasil – hasil pembebanan sebagai berikut :
 - a. Pada beban mati, semakin tinggi bangunan maka deformasi terbesar berada dibagian bawah silo semen, karena tekanan horizontal semen akan lebih besar pada bagian bawah silo semen. Deformasi beban mati maksimum sebesar -0,0399 m.
 - b. Pada beban hidup, deformasi terbesar berada dipermukaan silo semen, karena pengaruh alat – alat konstruksi yang bekerja pada waktu pengisian semen pada silo semen. Deformasi beban hidup maksimum sebesar $2,698 \times 10^{-6}$ m.
 - c. Pada beban gempa, karena terletak pada zona 4, khususnya di daerah Rembang, deformasi ke arah horizontal sangat besar, karena pengaruh ketinggian silo semen. Deformasi beban gempa maksimum sebesar 1,317 m.
 - d. Pada beban angin, deformasi paling besar ke arah horizontal karena pengaruh dari ketinggian silo semen.
2. Hasil analisis tegangan pada *output* perangkat lunak didapatkan hasil – hasil pembebanan, dan hasil tegangan maksimum yang didapatkan sebesar 710310,532 ton / m².
3. Hasil analisis momen maksimum pada *output* perangkat lunak didapatkan hasil – hasil pembebanan, dan hasil momen maksimum yang didapatkan sebesar 910.433 tm.

b. Saran

1. Kesalahan dalam menganalisis beban merupakan salah satu penyebab utama kegagalan struktur. Mengingat hal tersebut sebelum melakukan analisis dan desain struktur, perlu adanya gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur beserta karakteristiknya.
2. Agar validitas analisis dapat cukup akurat, sebaiknya hasil analisis pada perangkat lunak dibandingkan dengan referensi yang sudah ada.
3. Untuk keperluan desain, sebaiknya menggunakan analisa *non linier*, karena perhitungan yang dilakukan mempunyai ketepatan yang cukup akurat dan detail, meskipun langkah yang dilakukan juga cukup rumit.
4. Desain struktur cangkang yang ekonomis dan efisien harus memperhatikan beberapa hal seperti ; bahan / material yang akan digunakan, ketinggian cangkang (ho), ketebalan cangkang (t), dan lain – lain tergantung dari kebutuhan dan fungsi dari struktur tersebut.

6 REFERENSI

- ANSYS R.9.0. (2004). "ANSYS Release 9.0 Documentation". MPI Software Technology, Inc., Mississippi State University.
- Cook, R.D. (1990). "Konsep Dan Aplikasi Metode Elemen Hingga". Terjemahan Ir. Bambang Suryatmono, M.Sc, PT. Eresco, Bandung.
- Schodek, D.L. (1991). "Struktur". Terjemahan Bambang Suryatmono, PT. Eresco, Bandung.
- Weafer, W.JR. dan Jhonston, P.R. (1984) "Elemen Hingga Untuk Analisis Struktur". Terjemahan Ir. Markus Rubijangko Kusuma, PT. Eresco, Bandung.
- Zienkiewics and Taylor."The F inite Element Methode". Fourth Edition Volume 2. Peraturan Pembebanan Untuk Gedung, 1983.
- SNI 03-1726-2003 pasal 43. Peraturan Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa.