

ANALISIS KEKUATAN STATIS DUDUKAN TERAS FASILITAS EKSPERIMEN SAMOP

Alzero Fakhri Anugrah dan Edi Sugianto

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, BATAN

Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb Yogyakarta 55281

email: alzero@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS KEKUATAN STATIS DUDUKAN TERAS FASILITAS EKSPERIMEN SAMOP. SAMOP (Subcritical Assembly for ^{99}Mo Production) merupakan fasilitas yang sedang dikembangkan untuk memproduksi radioisotop ^{99}Mo sebagai generator radioisotop $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang merupakan radioisotop paling banyak digunakan untuk diagnosis di bidang kedokteran nuklir. Dudukan teras merupakan komponen yang menopang seluruh komponen yang ada pada teras SAMOP maka kekuatannya harus mampu menahan seluruh komponen yang ditopangnya. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui tegangan maksimum, deformasi maksimum serta faktor keselamatan yang ada pada desain dudukan teras SAMOP. Dudukan teras SAMOP didesain berbahan stainless steel AISI 304 yang menerima beban total sebesar 2903,36 N. Analisis kekuatan statis ini dilakukan dengan simulasi software SolidWorks. Dari hasil analisis, diperoleh tegangan maksimum sebesar 85.817.208 N/m² dimana nilai ini lebih kecil dari tegangan izin sebesar 206.807.000 N/m² dan mengalami deformasi sebesar 1,256 mm serta memiliki faktor keselamatan terendah sebesar 2,41. Hasil analisis menunjukkan desain dudukan teras SAMOP telah memenuhi kriteria keselamatan.

Kata kunci: analisa statik, SAMOP, tegangan, desain, faktor keselamatan

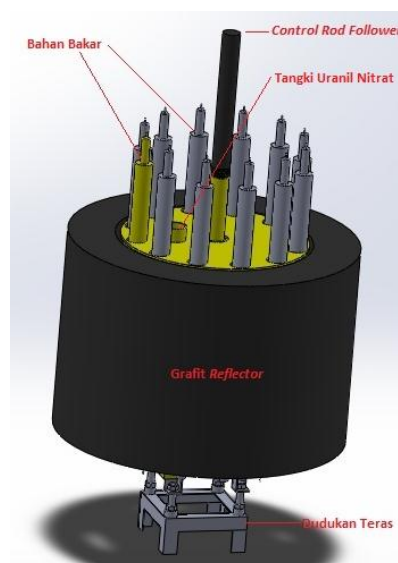
ABSTRACT

STATISTICAL STRENGTH ANALYSIS OF CORE SUPPORT SAMOP EXPERIMENTAL FACILITIES. SAMOP (Subcritical Assembly for ^{99}Mo Production) is a facility under development for producing ^{99}Mo as a generator of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ radioisotope which is the most widely used radioisotope for diagnosis in nuclear medicine. The core support is a component that holds all components on the SAMOP core so its must be able to hold all the components on it. The purpose of this analysis is to know the maximum stress, maximum deformation and safety factor that exist on SAMOP core support design. SAMOP core support is designed with AISI 304 stainless steel which accepts total load of 2903.36 N. This static strength analysis is using simulating SolidWorks software. From the analysis result, obtained a maximum stress of 85.817.208 N/m² where this value is smaller than the permitted stress of 206.807.000 N/m², deformed by 1.256 mm and has the lowest safety factor of 2.41. Analysis results show that SAMOP core support design meets the safety criteria.

Keywords: static analysis, SAMOP, stress, design, safety factor

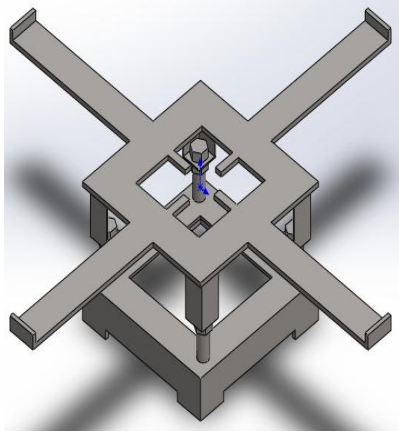
PENDAHULUAN

Radioisotop ^{99}Mo sangat diperlukan sebagai pembangkit radioisotop $^{99\text{m}}\text{Tc}$, dimana $^{99\text{m}}\text{Tc}$ merupakan radioisotop yang paling banyak digunakan untuk diagnosis di bidang kedokteran nuklir [1]. Konsep sistem Subcritical Assembly for ^{99}Mo Production atau SAMOP ini didasarkan pada proses reaksi pembelahan inti ^{235}U yang berlangsung selama masih ada sumber neutron yang berasal dari luar perangkat SAMOP. Pada tahap awal, sumber neutron untuk SAMOP menggunakan neutron keluaran dari beamport Reaktor Kartini. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, sistem teras SAMOP terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu: dudukan teras, grafit reflector, bahan bakar, tangki uranil nitrat dan control rod follower. Dudukan teras merupakan komponen yang menopang seluruh komponen yang ada pada teras SAMOP maka kekuatannya harus mampu menahan seluruh komponen yang ditopangnya.



Gambar 1. Teras SAMOP

Gambar 2 menunjukkan bentuk detail dari konstruksi dudukan teras SAMOP. Pada penelitian ini dianalisis kekuatan dudukan teras SAMOP untuk mengetahui tegangan statis yang diterimanya, deformasi maksimal yang dialaminya sehingga dapat diketahui keamanannya desainnya.



Gambar 2. Dudukan teras SAMOP

TEORI

Tegangan

Setiap material adalah elastis pada keadaan alamnya. Karena itu jika gaya luar bekerja pada benda, maka benda tersebut akan mengalami deformasi. Ketika benda tersebut mengalami deformasi, molekulnya akan membentuk tahanan terhadap deformasi. Tahanan ini per satuan luas dikenal dengan istilah tegangan. Secara matematik tegangan bisa didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, atau:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dimana P = beban atau gaya yang bekerja pada benda

A = Luas penampang melintang benda

Regangan

Regangan didefinisikan sebagai perubahan ukuran benda yang dikenakan beban dibandingkan dengan ukuran semula per satuan panjang.

$$\varepsilon = \frac{\delta l}{l} \quad (2)$$

dimana δl = perubahan ukuran benda

l = panjang awal benda

Hukum Hooke, Modulus Elastisitas (Young) dan Kekuatan Luluh (Yield Strength)

Hukum Hooke menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan yang menyatakan, "Jika benda dibebani dalam batas elastisnya, maka tegangan berbanding lurus dengan regangannya".

$$\frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} = E = \text{konstan} \quad (3)$$

Tegangan berbanding lurus dengan regangan selama masih dalam daerah elastisnya yang didefinisikan sebagai:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4)$$

dimana σ = tegangan, ε = regangan, E = konstanta proporsionalitas atau modulus elastisitas

Kekuatan luluh adalah tegangan maksimal yang masih dapat ditahan oleh suatu material untuk mempertahankan bentuk elastisnya. Ketika yield strength nya terlampaui suatu material mulai kehilangan bentuk elastisnya dan memasuki fase plastis. Luluh terjadi pada suatu material apabila beban yang diberikan kepada material lebih besar dari kekuatan luluhnya.

Faktor Keamanan

Kekuatan sebenarnya dari suatu struktur material haruslah melebihi kekuatan yang dibutuhkan. Perbandingan kekuatan sebenarnya terhadap kekuatan yang dibutuhkan disebut factor keamanan (n).

$$\text{Faktor Keamanan} = \frac{\text{Kekuatan Sebenarnya}}{\text{Kekuatan yang Dibutuhkan}} \quad (5)$$

Untuk menghindari kegagalan struktur faktor keamanan harus lebih besar dari 1,0. Faktor keamanan dapat didisain sedikit diatas 1,0 hingga 10 bergantung pada situasi dan kondisi dan kebutuhan dilapangan [2]. Apabila faktor keamanan sangat rendah, maka kemungkinan kegagalan akan menjadi tinggi dan karena itu desain strukturnya tidak diterima. Sebaliknya jika faktor keamanan sangat besar, maka strukturnya akan tidak ekonomis dan kemungkinan tidak sesuai dengan fungsinya misalnya menjadi sangat berat.

Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga atau Finite Element Method (FEM) atau Analisa Elemen Hingga atau Finite Element Analysis (FEA), adalah dasar pemikiran dari suatu bangunan bentuk-bentuk kompleks dengan blok-blok sederhana atau membagi objek yang kompleks kedalam bagian-bagian kecil yang teratur. Penggunaan metode elemen hingga terdiri dari beberapa analisa:

- Analisa Perancangan adalah perhitungan sederhana, serta simulasi computer.
- Finite Element Method atau Finite Element Analysis adalah metode simulasi komputer yang paling banyak diaplikasikan dalam engineering.
- Penggunaan dari aplikasi CAD atau CAM. Aplikasi metode elemen hingga dalam engineering adalah untuk: Mechanical/Aerospace/Civil/Automobile Engineering, Structure analysis (Static/dynamic, linear/nonlinear), Thermal/fluid flows, Electromagnetics, Geomechanics, Biomechanics [3].

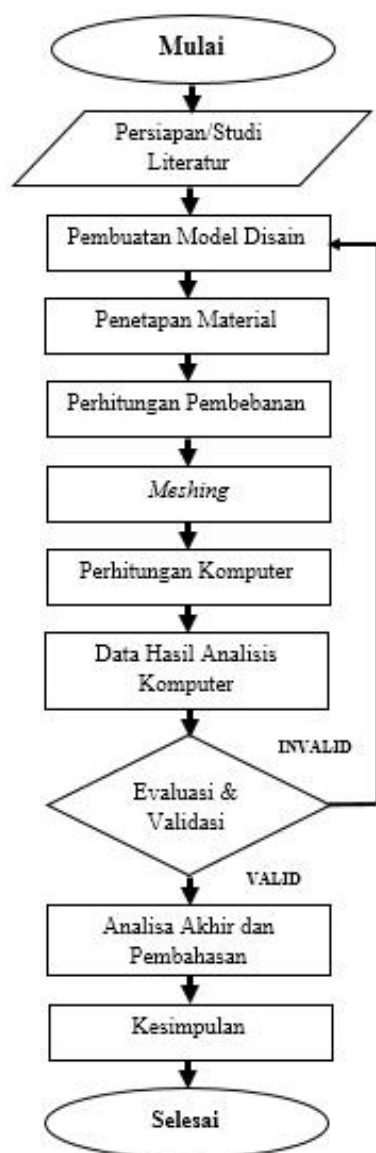
AISI 304

Stainless steel AISI 304 merupakan salah satu logam yang memiliki ketahanan cukup tinggi terhadap serangan korosi dan memiliki sifat yang baik dalam pengelasan dan mudah dalam proses machining sehingga material ini sangat baik untuk dipilih sebagai bahan untuk dudukan teras SAMOP. AISI 304 mempunyai densitas = 8000 (kg/m³), tensile strength = 517.017.000 (N/m²), yield strength = 206.807.000 (N/m²), Young's modulus = 1,9e+11(N/m²), dan Poisson's ratio 0.29. Komposisi kimia dari AISI 304 sesuai Tabel ASTM adalah Carbon (0.08 %), Manganese (2 %), Phosphourus (0.045 %), Sulfur (0.03 %), Silicon (0.75 %), Chromium (18.00-20.00 %), Nickel (8.00-12 %), Nitrogen (0.10 %), Iron (66.345-74.00 %) [4].

METODOLOGI

Kegiatan penelitian ini dimulai dengan persiapan berupa studi literatur yang menunjang dalam merancang dan menganalisa disain hasil rancangan yang akan dibuat. Selanjutnya dilakukan pembuatan model disain dari dudukan teras SAMOP sesuai dengan ukuran dan bentuk dibutuhkan. Setelah model disain selesai digambar, selanjutnya dilakukan penetapan material yang akan digunakan, perhitungan pembebanan yang akan dibebankan kepada rancangan serta dilakukan proses meshing (membagi model kedalam elemen-elemen) untuk kemudian dilakukan analisa dan simulasi.

Pembuatan model disain serta analisa dan simulasi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan software Solid Works 2014. Prosesnya menggunakan analisis static dan data yang dihasilkan berupa tegangan (stress), deformasi (displacement) dan faktor keselamatan (factor of safety). Setelah itu hasilnya diinterpretasi dan dianalisis. Diagram alir dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3:



Gambar 3. Diagram proses analisis

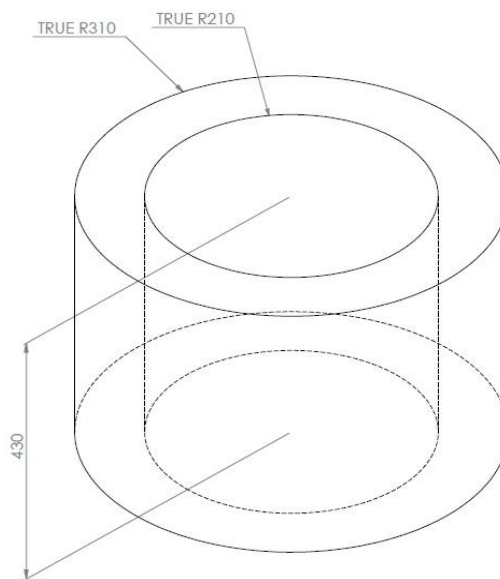
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Pembebanan

Dudukan teras SAMOP harus mampu menopang seluruh komponen yang ada pada teras SAMOP yaitu grafit reflector, bahan bakar, tangki uranil nitrat dan control rod follower.

Grafit Reflector

Grafit reflector pada teras samop berbentuk silindris yang terdiri dari grafit dengan ukuran seperti Gambar 4:



Gambar 4. Ukuran Grafit Reflector

Jari-jari dalam = 201 mm = 0,21 m
 Jari-jari luar = 301 mm = 0,31 m
 Tinggi = 430 mm = 0,43 m
 Massa jenis grafit = 2267 kg/m³

Volume grafit dapat dihitung:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume grafit} &= \text{Volume total} - \text{Volume lubang} \\
 &= (\pi r_1^2 h) - (\pi r_2^2 h) \\
 &= (3,14 \times 0,31^2 \times 0,43) - (3,14 \times 0,21^2 \times 0,43) \\
 &= 0,13 - 0,06 \\
 &= 0,07 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Maka massa grafit dapat dihitung:

$$\begin{aligned}
 \text{Massa} &= \rho \times \text{Volume} = 2267 \text{ kg/m}^3 \times 0,07 \text{ m}^3 \\
 &= 158,69 \text{ kg} = 1556,22 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Beban yang diterima oleh dudukan SAMOP dari grafit reflector adalah 1556,22 N.

Tangki Uranil Nitrat

Menurut hasil manufaktur dari PT. Boma Bisma Indra yang membuat tangki uranil nitrat untuk SAMOP, massa tangki uranil nitrat SAMOP adalah 16,56 kg = 162,40 N, dengan kapasitas maksimum 33,45 liter = 0,03345 m³. Dengan konsentrasi uranil 2,087 gr/cc = 2087 kg/m³, dapat diketahui massa uranil nitrat:

$$\begin{aligned}
 \text{Massa} &= \rho \times \text{Volume} = 2087 \text{ kg/m}^3 \times 0,03345 \text{ m}^3 \\
 &= 69,81 \text{ Kg} = 684,60 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Jadi massa total yang ada pada tangki uranil nitrat adalah:

$$\text{Massa total} = \text{Massa tangki} + \text{Massa uranil nitrat}$$

$$\text{Massa total} = 162,40 \text{ N} + 684,60 \text{ N}$$

Massa total = 847 N

Beban yang diterima oleh dudukan SAMOP dari tangki uranil nitrat adalah 847 N.

Bahan Bakar

Diantara tangki uranil nitrat dan grafit reflector SAMOP, akan disisipkan 12 buah bahan bakar TRIGA. Satu buah bahan bakar TRIGA memiliki massa sekitar 3 kg, dengan 12 buah bahan bakar maka massa total bahan bakar adalah 36 kg = 353,04 N. Jadi beban yang diterima oleh dudukan SAMOP dari bahan bakar TRIGA adalah 353,04 N.

Control Rod Follower

Control rod follower terdiri dari dua bagian, yaitu kelongsong berisi uranil nitrat dan dipasangkan dengan borat sebagai penyerap neutron. Massa control rod follower diperkirakan maksimum sebesar 15 kg = 147.10 N. Jadi beban yang diterima oleh dudukan SAMOP dari control rod follower adalah 147.10 N.

Total Pembebanan

Total beban yang diberikan kepada dudukan teras SAMOP didapat:

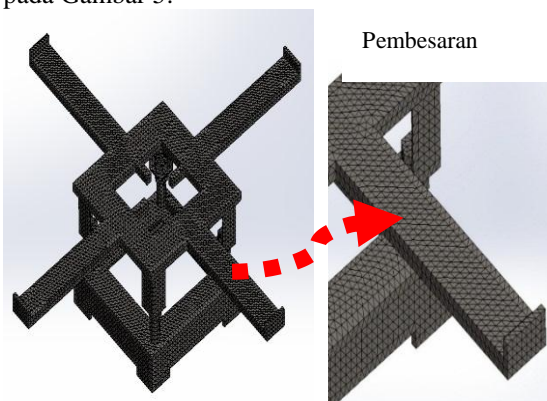
Beban Total = Massa grafit reflector + Massa tangki uranil nitrat + Massa bahan bakar TRIGA + Massa control rod follower

Beban Total = 1556.22 N + 847 N + 353,04 N + 147.10 N

Beban Total = 2903,36 N

Hasil Meshing

Meshing merupakan keluaran dari pengaplikasian Metode Elemen Hingga atau Finite Element Method (FEM) atau Analisa Elemen Hingga atau Finite Element Analysis (FEA). Semakin banyak dan rapat blok-blok (node) pada komponen uji, maka hasil perhitungannya akan semakin mendekati dengan kondisi lapangan. Hasil dari meshing pada dudukan teras SAMOP kali ini terdiri dari 80071 node dan 43663 elemen ditunjukkan pada Gambar 5:

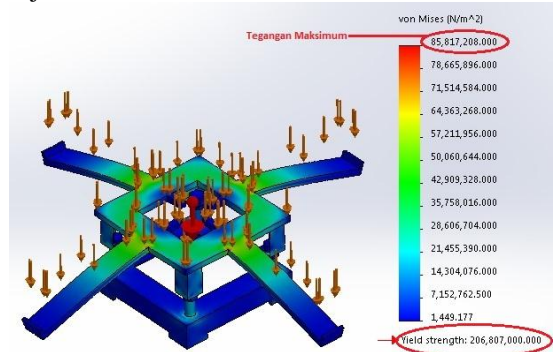


Gambar 5. Hasil meshing

Hasil Analisis Tegangan

Tegangan maksimum yang diterima oleh dudukan teras SAMOP adalah sebesar 85.817.208 N/m², dengan beban tegangan maksimum tersebut dudukan teras SAMOP masih aman karena tegangan maksimum yang masih dapat ditahan oleh material yang dipilih AISI 304 adalah

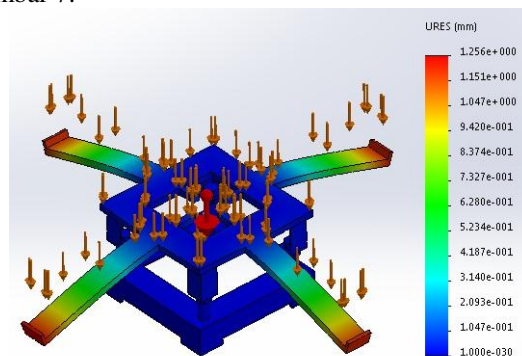
sebesar 206.807.000 (N/m²). Hasil simulasi tegangan ditunjukkan oleh Gambar 6:



Gambar 6. Hasil simulasi tegangan

Hasil Analisis Deformasi

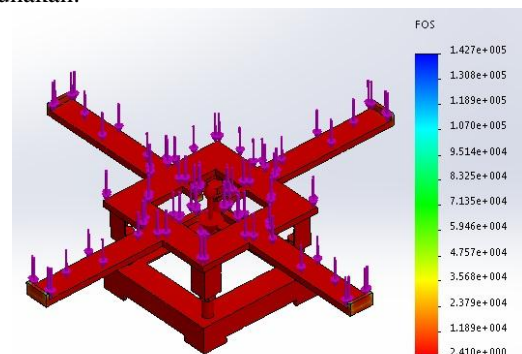
Perubahan bentuk/ deformasi maksimal yang terjadi pada dudukan teras SAMOP adalah sebesar 1,256 mm. Karena tegangan maksimum yang terjadi pada desain belum mencapai Yield Strength nya maka deformasi yang terjadi adalah deformasi elastis dan tidak merusak material. Hasil simulasi deformasi ditunjukkan oleh Gambar 7:



Gambar 7. Hasil simulasi deformasi

Hasil Analisis Faktor Keselamatan

Faktor keselamatan yang dihasilkan dari analisis kali ini menunjukkan bahwa faktor keselamatan terendah adalah sebesar 2,41 yang digambarkan dengan daerah berwarna merah, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8, hampir keseluruhan area dudukan teras SAMOP pada hasil analisis faktor keselamatan berwarna merah, artinya hampir seluruh area memiliki faktor keselamatan 2,41 yang berarti dudukan teras SAMOP aman untuk digunakan.



Gambar 8. Hasil simulasi faktor keselamatan

Rangkuman Hasil Simulasi

Hasil analisa dan simulasi pada dududukan teras SAMOP dengan menggunakan Software SolidWorks 2014 ini ditunjukkan pada Tabel berikut:

Tabel 1. Hasil analisa dan simulasi

No	Analisis	Pembebanan	Nilai Batas	Nilai Hasil Analisa
1	Tegangan maksimum		206.807.000 N/m ²	85.817.208 N/m ²
2	Deformasi maksimum	2.903,36 N	-	1,256 mm
3	Faktor keselamatan		1-10	2,41

KESIMPULAN

Desain dududukan teras SAMOP yang telah dirancang memenuhi kriteria kekuatan yang dibutuhkan. Dengan pembebanan 2.903,36 N, menghasilkan tegangan sebesar 85.817.208 N/m² yang mana nilai tersebut masih dibawah tegangan yang diizinkan yaitu 206.807.000 N/m². Faktor keselamatan/safety factor minimal pada desain dududukan teras SAMOP adalah 2,41. Angka tersebut menggambarkan bahwa desain mampu menahan beban lebih dari dua kali lipat dari pembebanan yang diberikan. Dengan faktor keselamatan 2,41, dimensi dan ukuran pada desain sudah cukup efisien dari segi keekonomiannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Karmanto, Eko Edy. 2017. Program Utilisasi Beamport Reaktor Kartini untuk Penelitian

Pengembangan Subcritical Assembly for Molly Production (SAMOP). Yogyakarta : BATAN.

- [2] Gere M. James. 2004. *Mechanic of Materials Sixth Edition*. Thomson Learning, Inc.
- [3] Awaluddin, Muhammad, dkk. 2014. Analisis Statik Support Pemegang Sumber pada Prototip Pencitraan Peti Kemas Menggunakan Ansys. PRFN-BATAN.
- [4] SolidWork,
http://help.solidworks.com/2014/english/SolidWorks/SWHelp_List.html?id=877ca51d2605491e91f00c2a19fa952a#Pg0&ProductType=&ProductName=
- [5] Anonim,
http://www.aksteel.com/pdf/markets_products/stainless/austenitic/304_304l_data_bulletin.pdf diakses pukul 13.15 WIB tanggal 26 Oktober 2017
- [6] Desai, S. Chanrakant, Christian, T. John. 1977. *NUMERICAL METHODS IN GEOTECHNICAL ENGINEERING*. McGraw-Hill, Inc.

TANYA JAWAB**Suharyana**

Mengapa tidak mensimulasikan ukuran minimum dududukan yang dibutuhkan agar kuat menahan konstruksi SAMOP?

Alzero Fakh A.

Karena tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui tegangan maksimum deformasi maksimum serta faktor keselamatan yang ada pada desain dududukan teras SAMOP.