

## ANALISIS KEKUATAN MEKANIK ALAT BANTU ULTRASONIK UNTUK PEMERIKSAAN *BEAM TUBE* RSG-GAS

Dedy Haryanto\*, Almira Citra Amelia\*, Aep Saepudin Catur\*\*

\*Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir

\*\*Pusat Reaktor Serba Guna

Email: [dedy.haryanto@batan.go.id](mailto:dedy.haryanto@batan.go.id)

### ABSTRAK

**ANALISIS KEKUATAN MEKANIK ALAT BANTU ULTRASONIK UNTUK PEMERIKSAAN *BEAM TUBE* RSG-GAS.** Reaktor Serba Guna G.A Siwabessy (RSG-GAS) memiliki fasilitas *beam tube* yang berfungsi sebagai tabung berkas tempat terjadinya proses iradiasi. Salah satu langkah perawatan terhadap *beam tube* yang akan dilakukan adalah pemeriksaan kondisi kelayakan *beam tube* menggunakan metode ultrasonik. Oleh karena itu maka perlu didesain alat bantu ultrasonik untuk mendukung pelaksanaan pemeriksaan pada *beam tube*. Alat bantu tersebut didesain mampu membawa probe ultrasonik dan meletakkan probe tepat pada jarak yang diijinkan sesuai dengan ketentuan pemeriksaan dengan metode ultrasonik. Analisis kekuatan mekanik alat bantu harus dilakukan setelah desain alat diperoleh dan sebelum dipabrikasi. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan dan keamanan alat bantu ketika digunakan untuk pemeriksaan *beam tube*. Alat bantu didesain menggunakan material Aluminium Alloy 1050 (Al 1050) dan analisis dengan metode pengujian secara simulasi menggunakan software CATIA. Tahapan yang dilakukan dalam menganalisis kekuatan mekanik yaitu ; pembuatan model 3-dimensi yang dilengkapi dengan sifat mekanik material yang digunakan yaitu Al 1050, memberikan *restraint* dan beban pada model 3-dimensi dan melakukan pengujian secara simulasi. Hasil pengujian pada perenggangan (*translational displacement*) 2,69 mm menimbulkan tegangan mekanik (*von mises stress*) sebesar 36,5 Mpa dengan gaya yang diberikan sebesar 125 N. Hasil tersebut dinilai baik karena pada perenggangan maksimal yang akan terjadi pada saat alat bantu digunakan tegangan mekanik yang terjadi jauh lebih kecil daripada *yield strength* material yang digunakan dan masih berada pada area elastisnya. Sehingga desain alat bantu ultrasonik dapat dipabrikasi dan digunakan untuk mendukung pemeriksaan *beam tube* dengan metode ultrasonik.

Kata kunci : *Beam tube*, alat bantu ultrasonik, *translational displacement*, tegangan mekanik.

### ABSTRACT

**MECHANICAL STRENGTH ANALYSIS OF SUPPORTING TOOL FOR ULTRASONIC EXAMINATION OF RSG-GAS BEAM TUBE.** Multipurpose Reactor G.A. Siwabessy (RSG-GAS) has a *beam tube* facility where the irradiation process occurs. that serves as the site of irradiation. One of the treatments steps of *beam tube* that will be done is check the condition of the feasibility eligibility conditions of *beam tube* inspection using ultrasonic method. Therefore it needs to be then designed of tool a supporting tool of ultrasonic for the implementation of ultrasonic checking on *beam tube*. The designed supporting tool should will be designed must to be able to bring the ultrasonic probe to the position and probe put right at a distance which is permitted in accordance with the examination using with the ultrasonic method. Analysis Mechanical strength analysis must be done after designed of tool supporting is obtained and before manufactured. This analysis aims to determine the feasibility and safety of tools when used for examination of *beam tube*. Supporting tools designed using 1050 aluminum alloy material (Al 1050) and analyzed with simulation method using CATIA. Steps being taken in analyzing the mechanical strength is; three dimensional modeling with the mechanical properties of the used material (Al 1050), provide *restraint* and load on three dimensional models and testing in simulation method. The test results on the stretch (*translational displacement*) 2.69mm mechanical stresses (*von mises stress*) of 36.5 MPa for applied force are 125 N. These results are considered as a good result because the maximum stretching that will occur far less than the yield strength of the material used and is still in the elastic area. The design of the ultrasonic supporting tool can be fabricated and used to support the *beam tube* inspection with ultrasonic methods.

Keywords: *Beam tube*, ultrasonic supporting tool , *translational displacement*, mechanical stress.

## PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna – G.A. Siwabessy (RSG-GAS) adalah reaktor riset jenis MTR (*Material Testing Reactor*) pertama di dunia yang dioperasikan langsung dengan bahan bakar pengkayaan uranium rendah atau LEU (*Low Enriched Uranium*), dengan kapasitas daya sebesar 30 MW<sub>th</sub>. RSG-GAS ini memiliki struktur yang terdiri dari kolam reaktor, pelat kisi dan selubung teras, penyangga teras, elemen bakar, elemen kendali, batang kendali, elemen reflektor dan blok reflektor, penutup dan *dummy*, perisai teras reaktor, tabung berkas, fasilitas iradiasi di dalam teras, dan jembatan reaktor [1][2][3]. Beberapa fasilitas iradiasi di dalam teras reaktor yang terdiri dari *Central Irradiation Position (CIP)*, *Irradiation Position (IP)*, *Sistem Rabbit*, *Power Ramp Test Facility (PRTF)*, dan Tabung Berkas (*beam tube*) [4]. RSG-GAS memiliki enam *beam tube*, *beam tube* S-1 digunakan untuk memproduksi *Iodine-125*. *Beam tube* S-6 (*tangential Beam tube*) dilengkapi dengan *powder diffractometer*. Empat *beam tube* yang lain digunakan untuk riset *magnetic alloys*, polimer dan bahan nuklir dengan teknik *neutron scattering* dan difraksi neutron [3][5].

Untuk kelancaran saat dioperasikan fasilitas-fasilitas itu memerlukan perawatan untuk mempertahankan keandalannya selama digunakan. Salah satu perawatan yang dilakukan adalah pemeriksaan kondisi kelayakan *beam tube* menggunakan peralatan ultrasonik yang merupakan salah satu dari metode uji tak rusak (*Non Destructive Test*) [6]. Oleh karena posisi *beam tube* berada pada level 13.150mm dibawah permukaan air pendingin kolam reaktor, maka diperlukan sebuah alat bantu untuk mendukung kegiatan pemeriksaan tersebut. Alat bantu ultrasonik berfungsi untuk meletakkan *probe* ultrasonik tepat pada jarak yang diijinkan sesuai ketentuan pemeriksaan dengan ultrasonik yaitu sebesar 25,4 mm. Alat bantu ultrasonik didesain menggunakan material aluminium Alloy – 1050 (Al 1050) untuk menghindari terjadinya korosi dan mempunyai bobot yang ringan.

Pembuatan desain alat bantu dilakukan menggunakan *software* AutoCad dengan komponen tuas pengarah, plat utama, roda penggerak, dan dudukan *probe* ultrasonik. Plat utama berbentuk lingkaran tidak penuh sehingga alat bantu dapat ditekan dan mencengkram *beam tube*. Ketika plat utama ditekan ke arah *beam tube* plat akan mengalami kerengangan maksimal (*translational displacement*) sebesar 2,69 mm, sehingga untuk itu perlu dilakukan analisis untuk mengetahui besarnya tegangan mekanik (*von mises stress*) pada plat utama..

Analisis kekuatan mekanik dilakukan dengan pengujian secara simulasi menggunakan *software* CATIA. Analisis yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui tegangan mekanik yang terjadi pada desain alat bantu ultrasonik dengan material Al 1050 ketika diregangkan sebesar 2,69 mm. Regangan sebesar 2,69 mm adalah regangan yang terjadi ketika alat bantu ultrasonik mengalami regangan maksimum pada saat dipasangkan pada *beam tube*. Tahapan analisis yang dilakukan meliputi ; pembuatan model tiga dimensi, mengumpulkan data sifat-sifat mekanik material yang digunakan pada alat bantu, serta melakukan pengujian kekuatan mekanik secara simulasi [7]. Dengan membandingkan besar tegangan mekanik yang terjadi pada plat utama alat bantu ultrasonik dengan *yield strenght* material Al 1050 maka dapat diketahui kekuatan mekanik alat bantu [8][9].

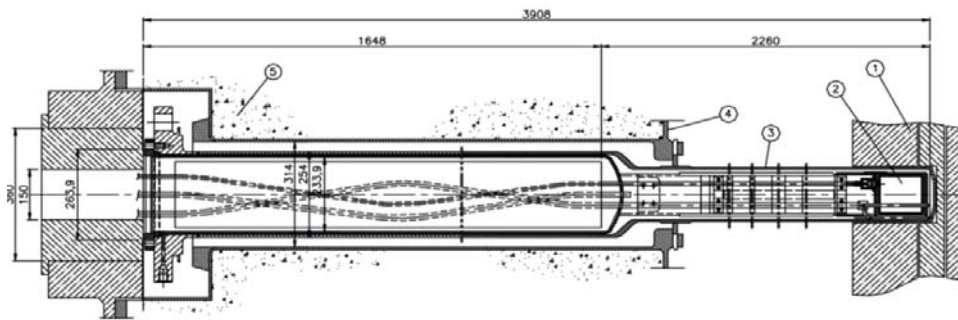
## TEORI

Fasilitas *beam tube* berfungsi sebagai tabung berkas tempat terjadinya iradiasi yang berada didalam kolam reaktor. Penampang *Beam tube* ditunjukkan pada Gambar 1.

*Beam tube* merupakan fasilitas iradiasi yang berada di luar teras reaktor. RSG-GAS memiliki enam *Beam tube* yaitu [10] :

1. *Beam tube* S-1 (*Xenon Loop*). Fasilitas ini digunakan untuk produksi I-125.
2. *Beam tube* S-2 (*Dry Neutron Radiography*). Digunakan untuk penelitian sains dan materi.
3. *Beam tube* S-3 (*Small Angle Neutron Scattering*), digunakan untuk penelitian sains dan materi.
4. *Beam tube* S-4 (*Neutron Defraction*). digunakan untuk penelitian sains dan materi.
5. *Beam tube* S-5 (*Polarized Neutron Scattering*), digunakan untuk penelitian sains dan materi.
6. *Beam tube* S-6 (*Powder Diffractometer*), digunakan untuk penelitian sains dan materi.

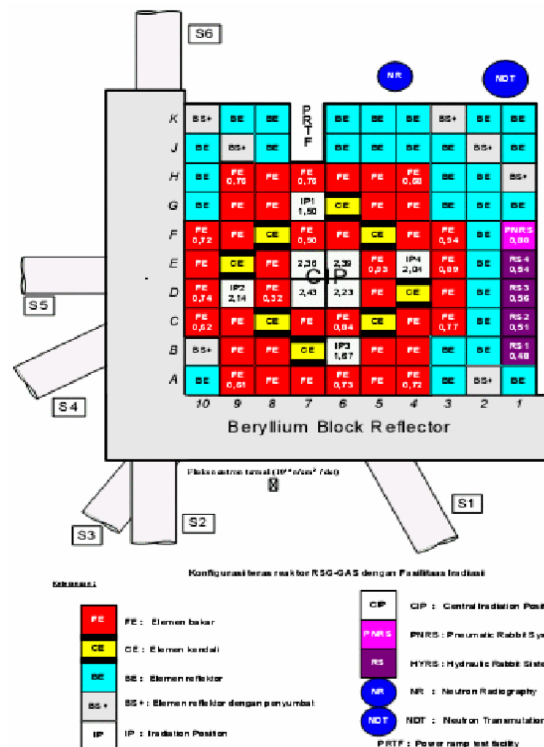
Posisi seluruh *Beam tube* (6 buah) berada didalam kolam reaktor pada level 13.150mm dibawah permukaan air pendingin kolam reaktor. Konfigurasi keenam *Beam tube* didalam kolam reaktor seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Keterangan gambar :

1. Berilium reflektor
2. Kamar iradiasi
3. *Beam tube*
4. Dinding kolam
5. Perisai beton

Gambar 1. Penampang *beam tube* [4]



Gambar 2. Konfigurasi *Beam tube* pada teras RSG-GAS[5]

Tindakan perawatan sangat diperlukan untuk menjaga kondisi kelayakan *beam tube*, salah satu tindakan perawatan yang dilakukan adalah pemeriksaan kondisi *Beam tube* menggunakan peralatan ultrasonik. Dengan ultrasonik dapat diketahui adanya keretakan pada dinding *beam tube* sehingga tindakan penanggulangan dan pencegahan agar kerusakan tidak semakin parah dapat segera dilakukan. Untuk melakukan pemeriksaan menggunakan ultrasonik diperlukan sebuah alat bantu dikarenakan posisi *beam tube* yang berada 13.150mm dibawah permukaan air pendingin kolam reaktor. Alat bantu didesain untuk membawa *probe* ultrasonik ke dinding *beam tube* dengan jarak yang telah ditentukan yaitu sebesar 25,4 mm serta dapat digerakan sepanjang permukaan dinding *beam tube*.

Material alat bantu ultrasonik menggunakan Al1050 dengan tujuan untuk mempermudah proses pembuatan, ringan dan tahan karat. Disamping itu Al1050 adalah jenis material aluminium yang sering digunakan untuk logam lembar kerja dimana

kekuatannya diperlukan. Material ini juga mempunyai ketahanan yang sangat baik terhadap korosi [11]. Sifat mekanik Aluminium Alloy 1050 (Al 1050) sebagai berikut:

**Tabel 1.** Sifat-sifat mekanik Al 1050 [12].

Mechanical properties	Besaran
Yield strength	105 MPa
Tensile strength	110 MPa
Density	2600 kg/m <sup>3</sup>
Young's modulus	70 GPa
Thermal Expansion	2,4 x 10 <sup>-5</sup> /K
Poisson ratio	0,33

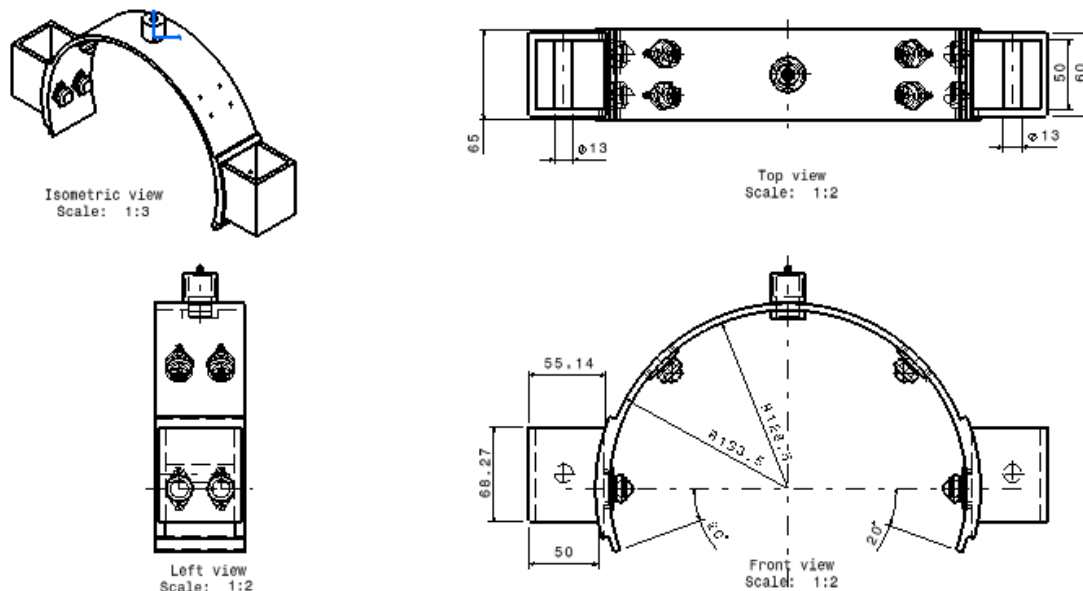
Alumunium Alloy adalah bahan campuran yang mempunyai sifat-sifat logam terdiri dari dua atau lebih unsur-unsur paduan. Penambahan unsur-unsur Cu, Zn, Mn, Mg, Si, Ti berfungsi sebagai tambahan untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya. Fungsi dari unsur-unsur paduan dalam almunium alloy adalah sebagai berikut [13]:

1. Copper (Cu) 0,5%, menaikkan kekuatan dan kekerasan, namun menurunkan elongasi (pertambahan panjang pangjangan saat ditarik).
2. Zink atau Seng (Zn) 0,5%, menaikkan nilai tensile.
3. Mangan (Mn) 0,5%, menaikkan kekuatan dalam temperature tinggi.
4. Magnesium (Mg) 0,5%, menaikkan kekuatan alumunium dan ketahanan korosi.
5. Silikon (Si) 0,25%, menyebabkan paduan alumunium tersebut bisa dikenakan perlakuan panas untuk menaikkan sifat kekerasannya.
6. Ferro (Fe) 0,4%, menaikkan kekuatan.
7. Titanium (Ti) 0,03%, ditambahkan untuk memperbaiki sifat tahan oksidasinya.

## TATA KERJA

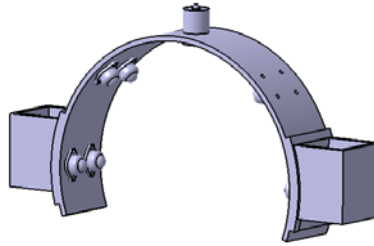
### Desain Alat Bantu Ultrasonik

Alat bantu ultrasonik berfungsi sebagai alat pembawa *probe* ultrasonik dalam pemeriksaan *beam tube*. Alat bantu ini didesain dapat mempertahankan jarak sebesar 25,4 mm antara ujung *probe* dengan permukaan *beam tube*. Desain alat bantu ultrasonik seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Desain alat bantu ultrasonik.

Untuk melakukan analisis kekuatan mekanik pada desain alat bantu harus dilakukan pembuatan model tiga dimensi dengan mengacu desain yang telah dibuat. Pemodelan tiga dimensi alat bantu ultrasonik ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Model 3-dimensi alat bantu

Dengan adanya pemodelan tiga dimensi yang telah dilengkapi dengan sifat-sifat mekanik material yang digunakan, maka analisis kekuatan mekanik pada desain alat bantu ultrasonik dapat dilakukan melalui simulasi menggunakan *software* CATIA. Analisis kekuatan mekanik dengan *software* CATIA dapat digunakan untuk mengetahui besaran tegangan mekanik yang terjadi akibat adanya perenggangan sebesar 2,69 mm ketika alat bantu digunakan pada *beam tube*. Besaran tegangan mekanik tersebut dibandingkan dengan *yield strength* material Al 1050. Jika tegangan mekanik yang terjadi lebih kecil daripada *yield strength* material Al 1050 dan masih berada pada daerah elastisnya maka desain alat bantu ultrasonik dapat diterima dan dipabrikasi.

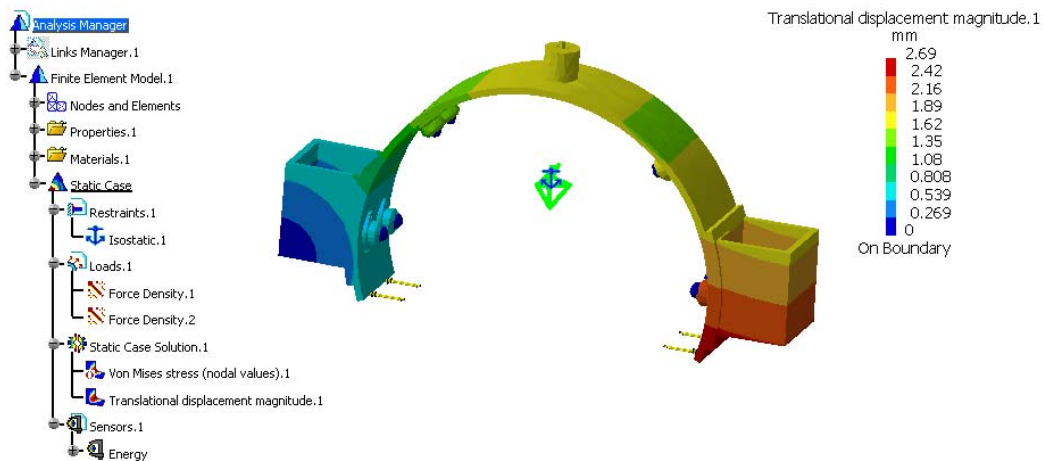
#### **Tahapan Kerja**

Tahapan yang dilakukan dalam melakukan analisis kekuatan mekanik melalui pengujian secara simulasi menggunakan *software* CATIA adalah sebagai berikut [14];

1. Pembuatan model tiga dimensi.  
Pada tahapan ini model tiga dimensi alat bantu ultrasonik dibuat yang mengacu pada desain yang telah diperoleh. Model tersebut dilengkapi dengan sifat-sifat material yang digunakan pada desain dan digunakan sebagai data masukan pada pengujian secara simulasi.
2. Pembebanan.  
Data pembebanan diasumsikan sebagai beban berupa gaya yang timbul akibat penekanan alat batu pada dinding *beam tube*. Besaran beban 125 N mengakibatkan adanya perenggangan sebesar 2,69 mm pada plat utama alat bantu.
3. *Restrain*.  
*Restrain* mensimulasikan model tiga dimensi dari alat bantu ultrasonik pada kondisi statis. *Restrain* harus diberikan pada model karena tanpa adanya *restrain* maka pengujian secara simulasi tidak dapat dilakukan.
4. Pengujian tegangan mekanik.  
Menggunakan model tiga dimensi yang telah diperoleh mengacu dari desain alat bantu ultrasonik yang telah dilengkapi dengan data masukan berupa sifat-sifat material, beban dan *restrain* selanjutnya dapat dilakukan pengujian secara simulasi untuk mengetahui besaran tegangan mekanik dan *translational displacement* yang terjadi. Besaran tegangan mekanik dibandingkan dengan *yield strength* material Al 1050 yang digunakan pada desain alat bantu sehingga dapat diketahui kekuatan mekanik desain alat bantu ultrasonik.

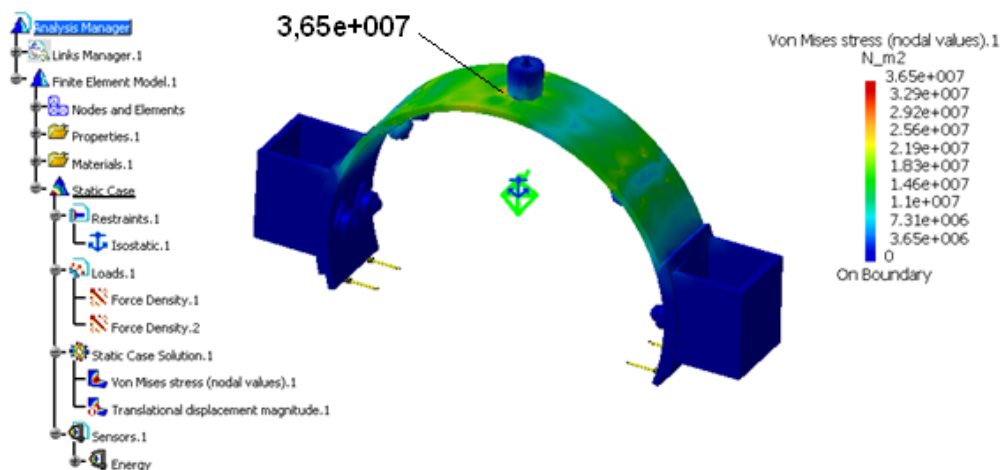
#### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengujian secara simulasi menggunakan *software* CATIA dilakukan dengan memberikan gaya ke arah sumbu Y positif dan Y negatif dengan gaya sebesar 125 N. Pemberian gaya ini mensimulasikan kondisi ketika alat bantu digunakan pada *beam tube* saat mengalami peregangan maksimal. Dengan pemberian gaya sebesar 125 N ke arah sumbu Y positif dan Y negatif didapatkan *translation displacement* (perenggangan) sebesar 2,69 mm terlihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Translation displacement (perenggangan) akibat gaya sebesar 125 N

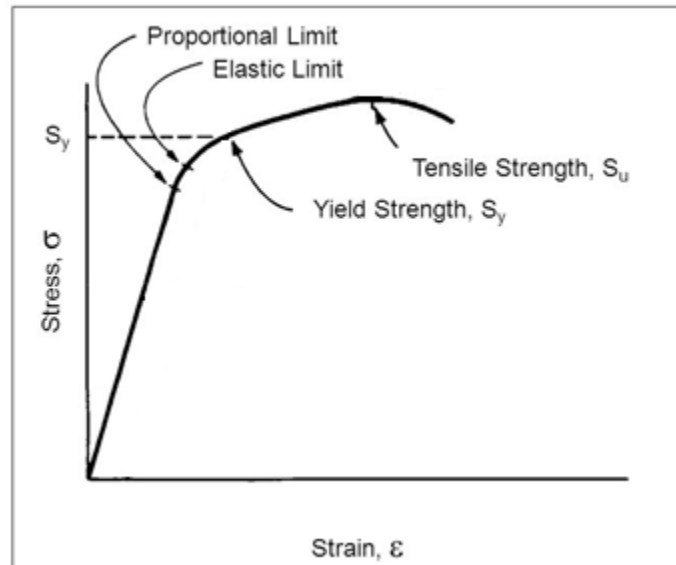
Adanya perenggangan sebesar 2,69 mm mengakibatkan adanya tegangan mekanik (*von mises stress*) sebesar 36,5 MPa ( $3,65e+007 \text{ N/m}^2$ ) pada bagian atas alat bantu seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Tegangan mekanik (*von mises stress*) yang timbul akibat adanya perenggangan.

Tegangan mekanik (*von mises stress*) yang timbul akibat perenggangan sebesar 36,5MPa, sedangkan *yield strength* material Al 1050 yang digunakan sebesar 105 MPa ( $1,05e+008 \text{ N/m}^2$ )[13]. Jika dibandingkan antara tegangan mekanik yang timbul pada alat bantu dengan *yield strength* material Al 1050, tegangan mekanik tersebut lebih kecil daripada *yield strength* material Al 1050. Dan tegangan mekanik masih berada pada daerah elastis material Al 1050 sehingga jika beban diadakan maka tegangan mekanik akan hilang dan bentuk alat bantu akan kembali seperti semula seperti ditunjukkan pada Gambar 6.





Gambar 7. Grafik Stress versus Strain Aluminium Alloy 1050 [15]

Grafik pada Gambar 7 menunjukkan daerah elatis berada dibawah titik *yield strength*( $S_y$ ) material sebesar 105 MPa. Sehingga jika terjadi tegangan mekanik (*stress*) yang lebih kecil dibandingkan dengan *yield strength*( $S_y$ ) material maka material akan kembali ke bentuk semula. Sedangkan jika material mengalami tegangan mekanik (*stress*) yang lebih besar dari *yield strength* ( $S_y$ ) material maka material tidak akan kembali ke bentuk semula. Jika gaya tetap diberikan sehingga tegangan melampaui *yield strength* dan mencapai titik *Tensile Strength* ( $S_u$ ) maka alat bantu tersebut akan rusak, sesuai dengan hukum *hooke* yang berlaku untuk semua material logam [16]. Hal demikianlah yang terjadi pada alat bantu ultrasonik ketika diberikan gaya sebesar 125 N ke arah sumbu Y positif dan Y negatif sehingga mengalami perenggangan sebesar 2,69 mm.

## KESIMPULAN

Pada saat aplikasi alat bantu ultrasonik digunakan pada *beam tube*, alat bantu akan mengalami peregangan sebesar 2,69 mm setara dengan pemberian gaya sebesar 125 N ke arah sumbu Y positif dan Y negatif. Akibatnya alat bantu akan mengalami tegangan mekanik sebesar 36,5 MPa ( $3,65 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ). Tegangan mekanik yang timbul jauh lebih kecil dibandingkan dengan *yield strength* material Al 1050 yang digunakan sebesar 105 MPa ( $1,05 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ ) dengan demikian tegangan mekanik yang timbul masih berada di daerah elastis material. Jika peregangan dihilangkan dan gaya akan hilang maka alat bantu ultrasonik akan kembali ke bentuk semula. Dengan demikian desain alat bantu ultrasonik dapat dipabrikasi dan digunakan untuk mendukung pemeriksaan *beam tube* dengan metode ultrasonik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih atas dukungan yang diberikan dengan adanya DIPAPTRKRN tahun anggaran 2015 untuk kegiatan penelitian ini, Kepala BPFKR selaku atasan langsung dan teman-teman Subbidang Fasilitas Termohidrolika serta Dr. Roziq Himawan atas diskusi teknis.

## DAFTAR PUSTAKA

1. DEMON HANDOYO , AGUS CAHYONO , KHAIRUL HANDONO , SAPTA TEGUH P., Rancang Bangun Perangkat Lunak Simulator Reaktor Nuklir Untuk Sosialisasi PLTN, Jurnal Perangkat Nuklir, ISSN No. 1978-3515, Volume 05 Nomor 02 Nopember 2011
2. SYAHRUL, Pengetahuan dan Perawatan SSK Teras Reaktor RSG-GAS, Diklat Pelatihan Penyegaran Teknisi dan Supervisor Perawatan Reaktor RSG-GAS, 6 April 2015.
3. ANDI SOFRANY EKARIANSYAH, SUSYADI, SUKMANTO DIBYO, Aplikasi Program RELAP5/MOD3.2 Untuk Simulasi Beam tube Rupture RSG-GAS, Jurnal Teknologi

- Reaktor Nuklir-TRI DASA MEGA, P-ISSN: 1411-240X E-ISSN: 2527-9963, Vol. 8, No. 3, Oktober, 2006
4. INTERATOM, *Interatom TOP M29-6 Reactor Pool- Reactor Pool Upper Part (JAA)*.
  5. SUTRISNO, SUWOTO, ROYADI, Evaluasi Pemanfaatan Fasilitas Iradiasi RSG-GAS Pada Tahun 2006, Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, ISSN 1978-0176 , 21-22 November 2007.
  6. SRI NITISWATI, ROZIQ HIMAWAN, Aktivitas SDM Uji Tak Rusak-PTRKN Untuk Menyongsong PLTN Pertama Di Indonesia, Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, ISSN 1978-0176 , 25-26 AGUSTUS 2008
  7. MHD. DAUD PINEM,S.T., CATIA Si Jago Desain Tiga Dimensi, Kawah Media, Jl. H. Montong No. 57, Ciganjur-Jagakarsa, Jakarta Selatan 12630, 2009.
  8. ENGINEERS EDGE, *Yield Phenomenon, Yield Strength–Strength (Mechanics) of Materials Strength/Mechanics of Materials*, [http://www.engineersedge.com/material\\_science/yield\\_strength.htm](http://www.engineersedge.com/material_science/yield_strength.htm), December 1st, 2011.
  9. DEDY HARYANTO, MULYA JUARSA, SAGINO., Analisis Kekuatan Mekanik Struktur Untai Uji Termohidrolika Reaktor Menggunakan Perangkat Lunak Uji Struktur, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016, ISSN: 2355-7524, Tahun 2016.
  10. ELISABETH RATNAWATI, SUTRISNO, SUNARKO, Pengujian Terhadap Kinerja Fasilitas Iradiasi Sistem Rabbit Pneumatik Reaktor RSG-GAS Dengan Menggunakan Bahan Acuan Standar, Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan Yogyakarta, ISSN 1410-8178, 11 September 2013
  11. AALCO, *The UK's independent multi-metals stockholder*, [http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-1050A-H14-Sheet\\_57.ashx](http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-1050A-H14-Sheet_57.ashx), diunduh bulan April 2017.
  12. DEDY HARYANTO, EDY KARYANTA, PUTUT HERY SETIAWAN, KAWKAB MUSTOFA, Pengaruh Penstabil Silikon Terhadap Kekuatan Mekanik Kapsul Iradiasi, Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir, ISBN 978-979-17109-6-1, Tahun 2011
  13. YUDY SURYA IRAWAN, Material Teknik 08<sup>th</sup>, <https://matrudian.files.wordpress.com/2013/10/material-teknik-08th.pdf>, diunduh bulan April 2017.
  14. DEDY HARYANTO, RISWAN DJAMBIAR, SAGINO, Analisis Rancangan Kit Holder Pada Mesin Universal Gerinding RUP/1500, Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat NuklirPusat Sain dan Teknologi Akselerator, ISSN 1410-8178, Yogyakarta 9September 2014.
  15. NADCA A-3-2-06 STANDARD, *Material Properties Aluminium Alloys, NADCA Product Specification Standard for Die Castings*, 2006.
  16. DEDY HARYANTO, KUSSIGIT SANTOSA, Analisis Tegangan Mekanik Dan *Translational Displacement* Pada Struktur *Experiment* Kanal, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2015, ISSN: 2355-7524, 15-16 Oktober 2015