

## ANALISIS KEKUATAN LANDASAN ALUMINIUM PADA PERANGKAT BRAKITERAPI MEDIUM DOSERATE

Rahmat, Ari Satmoko

Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional  
Kawasan Puspiptek Serpong Tangerang – Banten

### ABSTRAK

**ANALISIS KEKUATAN LANDASAN ALUMINIUM PADA PERANGKAT BRAKITERAPI MEDIUM DOSERATE (MDR).** Telah dilakukan analisis kekuatan landasan aluminium pada perangkat Brakiterapi medium doserate (MDR). Analisis dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur landasan perangkat brakiterapi. Landasan berfungsi menghubungkan modul penggerak sling, modul container sumber dan modul distributor chanel. Metode yang dilakukan adalah menganalisis tegangan dengan menggunakan pemodelan matematika. Dari analisis diperoleh bahwa nilai tegangan stress sebesar  $6,676 \text{ N/mm}^2$  masih jauh dibawah nilai yield sebesar  $199,73 \text{ N/mm}^2$ . Hasil evaluasi dari analisis pada struktur tersebut dapat digunakan dalam desain landasan untuk perangkat brakiterapi MDR.

Kata kunci : Kekuatan, Landasan, Aluminium, brakiterapi.

### ABSTRACT

**A STRENGTH ANALYSIS OF THE ALUMINIUM ANVIL OF THE MEDIUM DOSE RATE (MDR) BRACHYTHERAPY EQUIPMENT.** A strength analysis of the aluminium anvil of the medium dose rate (MDR) brachytherapy equipment has been performed. The analysis is to evaluate the strength of anvil structure used in brachytherapy equipment. The anvil serves to connect the wire driver module, the source container module and the channels distributor module. The method is to analyze stresses by using mathematical model. The analysis shows that the aluminium anvil has the largest stress at  $6,676 \text{ N/mm}^2$  and it is still under the yield stress at  $199,73 \text{ N/mm}^2$ . Evaluation results of the structure analysis can be used in designing the anvil for MDR brachytherapy equipment.

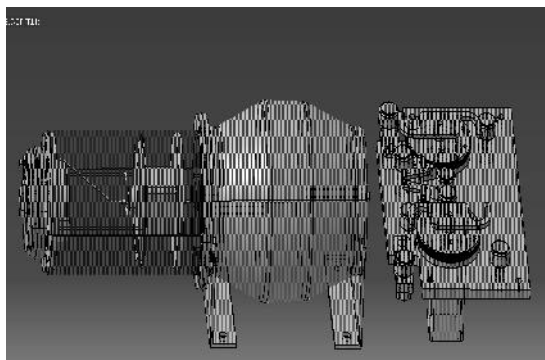
Key words: Strength, Anvil, Aluminum, brachytherapy

### 1. PENDAHULUAN

Pada tahun 2011 Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir (PRPN) - BATAN sedang melakukan penelitian dan pengembangan perancangan brakiterapi MDR. Brakiterapi adalah teknik media terapi yang menggunakan *iradiasi Ir-192* yang dapat digunakan untuk terapi kanker serviks<sup>[1]</sup>. Sistem mekanik perangkat brakiterapi merupakan sistem yang dirakit dari beberapa modul seperti modul penggerak *sling*, modul *container* sumber (pengaman sumber), modul *distributor chanel* seperti ditunjukkan pada gambar 1a, 1b dan 1c. Modul - modul tersebut dirangkai dan dirakit menjadi satu kesatuan perangkat peralatan *brakiterapi*.<sup>[2]</sup>

Tiap modul memiliki dimensi, berat dan bentuk yang bervariasi. Maka dianggap perlu dilakukan analisis kekuatan bahan komponen modul penyangga. Bahan komponen penyangga salah satunya adalah struktur landasan dari Aluminium (Al). Bahan Al tersebut digunakan sebagai landasan untuk modul-modul perangkat brakiterapi. Dengan mempertimbangkan faktor beban atau berat tiap modulnya,

analisis kekuatan landasan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan struktur landasan dalam mendukung modul perangkat brakiterapi *MDR* tersebut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 1. (a). Modul – modul dalam desain mekanik brakiterapi *MDR*, (b). Modul *Container* dan Penggerak *sling*, (c). Modul *distributor chanel*

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Logam Aluminium<sup>[3]</sup>

Aluminium adalah logam berwarna putih keperakan. Aluminium dikenal sebagai bahan yang tahan terhadap korosi. Hal itu disebabkan oleh fenomena pasivasi, yaitu proses pembentukan lapisan aluminium oksida dipermukaan logam aluminium setelah logam terpapar oleh udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Namun, pasivasi dapat terjadi lebih lambat jika dipadukan dengan logam yang bersifat lebih katodik, karena dapat mencegah oksidasi. Aluminium adalah logam non besi yang memiliki kekuatan terhadap massa yang tinggi sehingga banyak digunakan untuk produksi pabrikan misalnya untuk konstruksi struktur. Desain struktur landasan yang digunakan pada perangkat brakiterapi adalah terbuat dari logam Aluminium. Sifat – sifat fisik aluminium ditunjukkan dalam table 1.

Tabel 1. Sifat fisik alumunium <sup>[3]</sup>

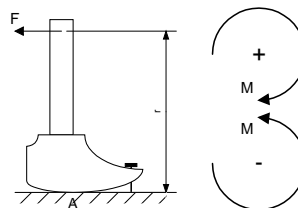
| Nama, Simbol, dan Nomor     | Aluminium, Al, 13               |
|-----------------------------|---------------------------------|
| Sifat Fisik Aluminium       |                                 |
| Wujud                       | Padat                           |
| Massa jenis                 | 2,70 gram/cm <sup>3</sup>       |
| Massa jenis pada wujud cair | 2,375 gram/cm <sup>3</sup>      |
| Titik lebur                 | 933,47 K, 660,32 °C, 1220,58 °F |
| Titik didih                 | 2792 K, 2519 °C<br>4566 °F      |
| Kalor jenis (25 °C)         | 24,2 J/mol K                    |
| Resistansi listrik(20 °C)   | 28.2 n m                        |
| Konduktivitas termal (300K) | 237 W/m K                       |
| Pemuaian termal (25 °C)     | 23.1 µm/m K                     |
| Modulus Young               | 70 Gpa                          |
| Modulus geser               | 26 Gpa                          |
| Poisson ratio               | 0,35                            |
| Yeild Stress                | 199,73 N/mm <sup>2</sup>        |
| Kekerasan skala Mohs        | 2,75                            |
| Kekerasan skala Vickers     | 167 Mpa                         |
| Kekerasan skala Brinnel     | 245 Mpa                         |

## 2.2. Sistem Gaya <sup>[4]</sup>

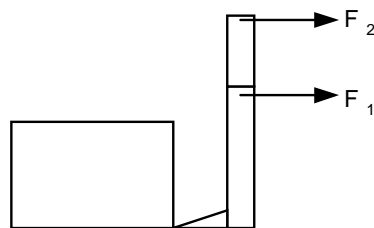
Momen: besaran yang mengindikasikan kemampuan dari sebuah gaya yang menyebabkan rotasi (perputaran).

$$M = F.r \dots\dots\dots(1)$$

dengan r adalah jarak gaya terhadap titik pusat tumpuan (A), seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Momen pada pengungkit paku dan penandaan momen  
*Resultan momen* dari beberapa gaya terhadap suatu titik sama dengan jumlah aljabar dari momen setiap gaya terhadap titik tersebut. Seperti terlihat pada gambar 3,



Gambar 3. Resultan momen

Dengan mengacu pada persamaan (1), maka besarnya momen  $M_1$  dan  $M_2$  pada gambar 3 adalah:

$$M_1 = F_1 \cdot x r_1$$

$$M_2 = F_2 \cdot x r_2$$

Maka nilai resultan  $M$  adalah:

$$M = M_1 + M_2 \dots\dots\dots(2)$$

*Teori Varignon:* Momen sebuah gaya terhadap sebuah titik sama dengan jumlah momen dari komponen-komponen gaya tersebut terhadap titik itu <sup>[4]</sup>.

**2.3. Tegangan Dalam Balok <sup>[5]</sup>**

**2.3.1. Pengertian Balok Melentur**

Balok melentur adalah suatu batang yang dikenakan oleh beban-beban yang bekerja secara transversal terhadap sumbu pemanjangannya. Beban-beban ini menciptakan aksi internal, atau resultan tegangan dalam bentuk tegangan normal, tegangan geser dan momen lentur.

Beban samping (*lateral loads*) yang bekerja pada sebuah balok menyebabkan balok melengkung atau melentur, sehingga dengan demikian mendeformasikan sumbu balok menjadi suatu garis lengkung.

**2.3.2. Tipe -Tipe Lenturan**

a. Lenturan Murni (*Pure Bending*)

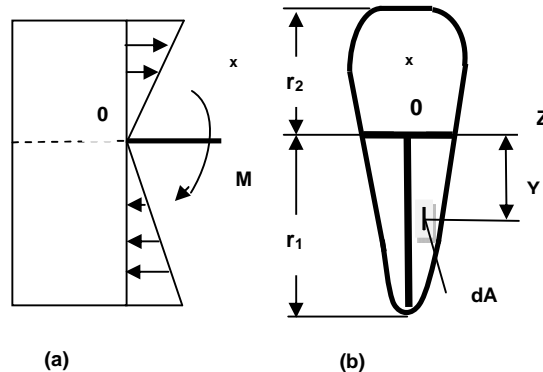
Lenturan dihasilkan oleh kopel dan tidak ada gaya geser transversal yang bekerja pada batang. Balok dengan lenturan murni hanya mempunyai tegangan normal (tegangan lentur tarik dan tekan).

b. Lenturan Biasa (*Ordinary Bending*)

Lenturan dihasilkan oleh gaya-gaya yang bekerja pada batang dan tidak terdapat kopel. Balok dengan lenturan biasa mempunyai tegangan normal dan tegangan geser.

**2.3.3. Tegangan Normal Pada Balok**

Tegangan normal yang bekerja pada penampang berubah secara linier terhadap jarak  $y$  dari permukaan netral. Jenis distribusi tegangan ini digambarkan pada Gambar 4, yaitu tegangan relatif (tekan) di bawah permukaan netral apabila kopel  $M_0$  bekerja dalam arah yang ditunjukkan. Kopel ini menghasilkan suatu kelengkungan positif  $K$  dalam balok, meskipun menyatakan suatu momen lentur negatif  $M$ . <sup>[4]</sup>



Gambar 4. Penyebaran tegangan normal pada sebuah balok dari bahan elastis linier.

Tegangan normal pada suatu balok digambarkan oleh persamaan

$$\tau = \frac{My}{I} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan :

- † : tegangan normal
- M : momen lentur pada penampang
- y : jarak dari sumbu netral ke tegangan normal
- I : momen inersia

Pada fiber terluar balok nilai koordinat y dinotasikan dengan simbol c, sehingga tegangan normal maksimumnya menjadi:

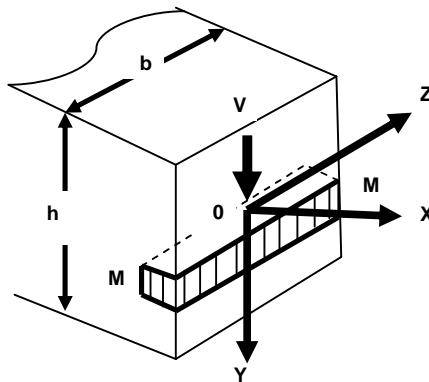
$$\tau_{maks} = \frac{Mc}{I} \text{ atau } \tau_{maks} = \frac{M}{I/c} \dots\dots\dots(4)$$

I/c disebut modulus penampang yang umumnya dinotasikan dengan simbol Z. Sehingga tegangan lentur maksimum digambarkan oleh persamaan:

$$\tau_{maks} = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots(5)$$

Tegangan Geser pada Balok :

Apabila sebuah balok dikenakan pelenturan tak merata, maka momen lentur M dan gaya lintang V kedua-duanya bekerja pada penampang. Tegangan normal ( $\sigma$ ) yang berhubungan dengan momen-momen lentur diperoleh dari rumus lentur. Kasus sederhana dari sebuah balok berpenampang empat persegi panjang yang lebarnya b dan tingginya h (Gambar 5), dapat dimisalkan bahwa tegangan geser bekerja sejajar dengan gaya lintang V (yaitu, sejajar dengan bidang-bidang vertikal penampang). Dimisalkan juga bahwa distribusi tegangan geser sama rata sepanjang arah lebar balok. Kedua penjelasan ini akan memungkinkan untuk menentukan secara lengkap distribusi tegangan geser yang bekerja pada penampang.



Gambar 5. Tegangan – tegangan geser dalam sebuah balok berpenampang segi empat persegi panjang.

Tegangan geser pada semua fiber dengan jarak  $y_0$  dari sumbu netral diberikan dengan formula: <sup>[4]</sup>

$$\tau = \frac{V}{lb} \int_{y_0}^c y da \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

- $\tau$  : tegangan geser
- $b$  : lebar penampang balok
- $y da$  : momen-area pertama
- $V$  : gaya geser
- $l$  : momen-area kedua

### 3. TATA KERJA

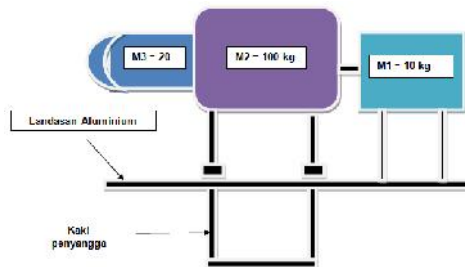
Kegiatan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- a. Sketsa desain, pembuatan sketsa desain pada makalah ini bertujuan untuk memudahkan dalam penggambaran ilustrasi pada bagian yang akan dimodelkan.
- b. Pemodelan struktur dan gaya, pemodelan struktur dan gaya yang ditampilkan adalah guna memberikan ilustrasi gambaran bentuk struktur dan gaya yang bekerja pada perangkat brakiterapi. Bentuk struktur dan gaya yang bekerja dikaji, digambarkan dan dimodelkan sesuai data yang didapat baik bentuk ukuran, dimensi serta posisi tata letak modul yang ada pada perangkat brakiterapi.
- c. Perhitungan, yaitu menghitung gaya-gaya reaksi dan tegangan pada material.
- d. Evaluasi keterimaan desain, yaitu evaluasi keberterimaan desain dilakukan setelah melakukan perhitungan - perhitungan dan memperoleh data yang cukup. Hasil perhitungan dibandingkan dengan teori ketetapan batas ambang kekuatan suatu bahan atau logam yang diijinkan.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

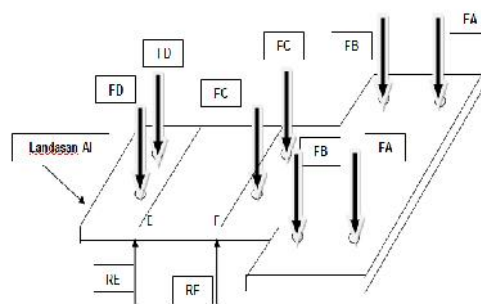
#### 4.1. Sketsa Desain

Sketsa desain pada makalah ini dibuat sesuai dengan data - data yang diperoleh dari kegiatan perancangan perangkat brakiterapi PRPN – BATAN (2011). Data seperti nama modul, berat dan dimensi sesuai dengan yang didapat pada saat pengumpulan data teknis dan non teknis. Pembuatan sketsa desain pada makalah ini bertujuan untuk memudahkan dalam penggambaran ilustrasi pada bagian yang akan dimodelkan seperti nama modul penggerak *sling* (M1), modul *container* sumber (M2), modul *distributor chanel* (M3) dan pelat Aluminium untuk landasan pada perangkat *brakiterapi*. Seperti ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Blok desain struktur *brakiterapi*.

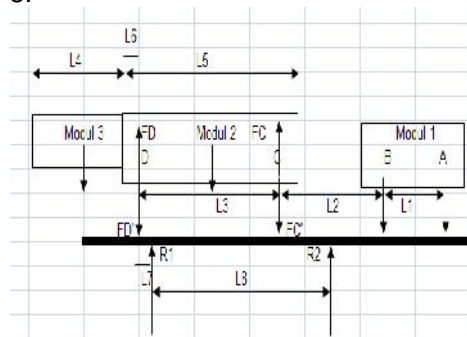
Modul modul yang dirangkai terdiri dari modul penggerak *sling* (M1), modul container (M2) dan modul *distributor chanel* (M3). M2 dirangkai M3 dengan baut. Sedangkan M2 dan M1 dihubungkan dengan *tube*. *Tube* bersifat fleksibel, sehingga diasumsikan tak ada gaya yang saling berinteraksi langsung antara kedua modul tersebut. Agar modul 1 dan modul 2 berada dalam ketinggian yang sama maka diperlukan alas atau landasan. Landasan didesain menggunakan bahan Aluminium dengan ketebalan 10 mm. Distribusi beban akibat M1, M2 dan M3 pada plat aluminium ditunjukkan dalam gambar 7.



Gambar 7. Distribusi beban pada landasan aluminium

#### 4.2. Pemodelan Struktur dan Gaya

Pemodelan struktur dan gaya yang ditampilkan adalah guna memberikan ilustrasi gambaran bentuk struktur dan gaya yang bekerja pada perangkat brakiterpi. Bentuk struktur dan gaya yang bekerja dikaji, digambarkan dan dimodelkan sesuai data yang didapat baik bentuk ukuran, dimensi serta posisi tata letak modul yang ada pada perangkat brakiterpi. Landasan aluminium dimodelkan dengan garis seperti ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Pemodelan struktur dan gaya

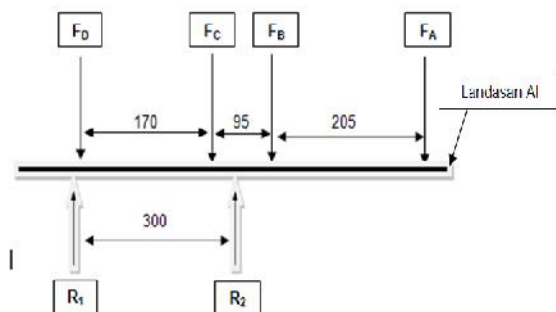
#### 4.3. Perhitungan gaya dan Tegangan

Karena M1 dan M2 dihubungkan dengan *tube fleksibel* maka M1 diasumsikan terlepas dari M2. Dengan demikian beban M1 terbagi merata kedalam  $F_A$  dan  $F_B$ , seperti terlihat pada gambar 9. Besarnya  $F_A$  dan  $F_B$  dapat dihitung dengan persamaan (7)

$$F_A = F_B = \frac{1}{2}(M1xg) \dots\dots\dots(7)$$

maka,

$$\begin{aligned}
 F_A = F_B &= \frac{1}{2}(M1xg) \\
 &= \frac{1}{2}(10kgx9,8m/det^2) \\
 &= 49 \text{ N}
 \end{aligned}$$

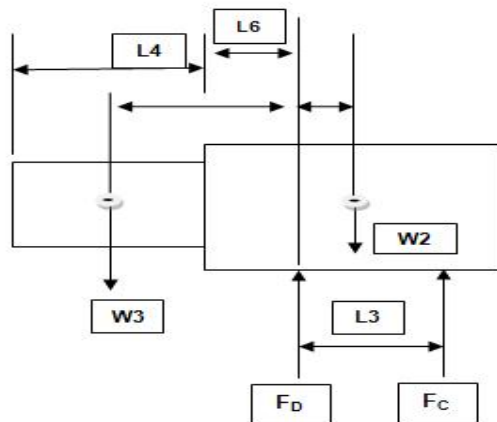


Gambar 9. Gaya-gaya yang bekerja pada landasan

Tahap selanjutnya adalah menghitung gaya  $F_C$  dan  $F_D$ . M3 dirangkai dengan M2, dan M2 ditopang oleh gaya  $F_C$  dan  $F_D$ . Untuk menghitung  $F_C$  dan  $F_D$  maka M2 dan M3 dimodelkan seperti dalam gambar 10. Gaya  $F_C$  dan  $F_D$  disebabkan oleh beban M2 dan M3. Namun Karena tidak simetris maka besarnya  $F_C$  dan  $F_D$  tidak sama. Karena struktur dalam keadaan setimbang maka berlaku persamaan

$$\sum M = 0 \dots\dots\dots(8)$$

$$\sum F = 0 \dots\dots\dots(9)$$



Gambar 10. Pemodelan beban modul M2 dan M3

Sesuai dengan persamaan (6), maka jumlah momen dititik D adalah nol Karena benda dalam keadaan setimbang maka jarak momen di D adalah nol.

$$\begin{aligned}
 \sum M_D &= 0 \\
 \Leftrightarrow -F_c \times L3 + M_2 \times L3/2 - M_3 \times (L4/2 + Lb) &= 0 \dots\dots\dots(8)
 \end{aligned}$$



melalui aplikasi numerik diperoleh bahwa  $F_C = 201,8 \text{ N}$ .

Gaya  $F_D$  dapat diperoleh karena jumlah seluruh gaya sama dengan nol sesuai dengan persamaan (7)

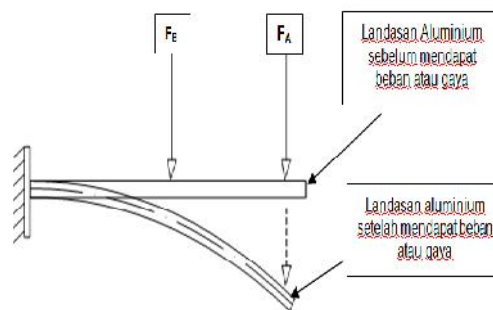
$$\sum F_D = 0 \dots\dots\dots(9)$$

$$\Leftrightarrow -W_3 - W_2 + F_D + F_c = 0$$

$$\Leftrightarrow F_D = W_2 + W_3 - F_c = 974,2 \text{ N}$$

Dari perhitungan terlihat bahwa gaya  $F_D$  jauh lebih besar dari pada  $F_C$ . Atas informasi ini akhirnya diputuskan bahwa salah satu kaki penyangga dari bawah diletakkan pada posisi persis dibawah  $F_D$ .

Kegiatan selanjutnya adalah analisis kekuatan. Landasan Aluminium direncanakan akan ditopang dari bawah dengan menggunakan kaki penyangga. Dengan struktur seperti ditunjukkan pada gambar 9, maka terdapat bagian landasan yang menggantung. Bagian ini dikhawatirkan mengalami beban tinggi. Jarak antara titik E dan F adalah 300 cm. Untuk analisis bagian yang menggantung ini plat aluminium dimodelkan dengan garis seperti ditunjukkan dalam gambar 11.



Gambar 11. Ilustrasi Gaya dan Tegangan pada landasan AL yang menggantung

Karena posisi penopang dari bawah telah diketahui maka panjang plat yang menggantung juga diketahui. Lokasi yang paling kritis adalah lokasi dibagian pangkal. Gaya  $F_A$  dan  $F_B$  akan menyebabkan momen  $M_1$  dan  $M_2$  seperti ditunjukkan dalam persamaan (10) dan (11).

$$M_1 = F_A \cdot x(L_1 + L_2) \dots\dots\dots(10)$$

$$M_2 = F_B \cdot xL_2 \dots\dots\dots(11)$$

Pada titik pangkal ini akan menerima momen total

$$M_{Total} = M_1 + M_2 = 26705 \text{ Nm}$$

Sesuai dengan persamaan (3) yang telah didiskusikan, momen total akan menyebabkan tegangan normal ( ). Pada titik pangkal tegangan ( ) akan mengalami stress pada permukaan atas Sedangkan momen inersia untuk balok diberikan oleh persamaan (12). Dimana  $Y$  adalah  $\frac{1}{2}$  ketebalan plat dan  $I$  adalah momen inersia untuk balok sebesar

$$I = b.h^3 / 12 \dots\dots\dots(12)$$

dengan :

b adalah lebar plat  
h adalah ketebalan plat

Aplikasi numerik menghantarkan pada nilai – nilai berikut :

$$I = 2000 \text{ mm}^4 \quad \text{dan} \quad \sigma_{\text{maks}} = 6,676 \text{ N/mm}^2$$

#### 4.4. Keberterimaan desain

Nilai batas tegangan elastis ( yield stress) dari aluminium adalah 199,73 N/mm<sup>2</sup>. Dengan koefisien keselamatan 0,6, maka bahan aluminium hanya diperbolehkan menerima tegangan sebesar 0,6 x 199,73 N/mm<sup>2</sup> = 119,838 N/mm<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil perhitungan besarnya tegangan maksimum sebesar 6,676 N/mm<sup>2</sup> jauh dibawah batas ambang yang telah ditetapkan. Dengan demikian desain dengan menggunakan plat aluminium berketebalan 10 mm dapat diterima.

### 5. KESIMPULAN

Analisis yang dilakukan pada kekuatan landasan Aluminium perangkat brakiterapi diperoleh bahwa tegangan *stress* yang didapat sebesar 6,676 N/mm<sup>2</sup>. Tegangan itu masih dibawah batas ambang kekuatan tegangan stress pada pelat logam Aluminium yaitu sebesar 119,838 N/mm<sup>2</sup>. Hasil evaluasi dari analisis pada struktur tersebut dapat digunakan dalam desain landasan untuk perangkat *brakiterapi MDR*.

### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Atang Susila, Ari Satmoko, Ahmad Rifai dan Kristiyanti, Mei 2011, *Perekayasa Berakiterapi MDR Jurnal Perangkat Nuklir volume 05*, no 01., Serpong.
- [2]. Ari Satmoko, 24 Oktober 2011, *Laporan Teknis Perekayasa Perangkat Loading –Unloading Isotop Brakiterapi Untuk Penyembuhan Kanker Servik*. BATAN-RPN-L-2011-010072
- [3]. Abdul Hafizh Dkk, diakses 8 November 2011, *Aluminium Murni dan Paduannya*, Fakultas Teknologi Pertanian, Institute Pertanian Bogor, 2009. Sumber :<http://www.scribd.com/doc/25300537/Makalah-Aluminium>.
- [4]. Anonim, 2001, *Menghitung Momen Gaya Dalam Statika*, Tim fakultas teknik Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- [5]. Soekrisno, Maliki, A.K., 1997, *Statika Struktur Plus Tegangan Regangan*, Mitra Cendekia, Yogyakarta.
- [6]. Kamarwan, Sidharta S., 1984, *Statika: bagian dari Mekanika Teknik*, jilid 2, UI Press, Jakarta.