



## ANALISIS KEKUATAN LANDASAN ALUMINIUM PADA PERANGKAT BRACHYTHERAPHY MEDIUM DOSE RATE (MDR)

Rahmat<sup>1</sup>, Ari Satmoko<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Gedung 71, Tangerang Selatan, 15310

### ABSTRAK

*ANALISIS KEKUATAN LANDASAN ALUMINIUM PADA PERANGKAT BRACHYTHERAPHY MDR. Telah dilakukan analisis kekuatan landasan aluminium pada perangkat Brachytherapy MDR. Analisis kekuatan dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur landasan perangkat brachytherapy. Landasan berfungsi menghubungkan modul penggerak sumber, modul container dan modul distributor chanel. Metode yang dilakukan adalah menganalisis tegangan dan deformasi dengan menggunakan pemodelan matematis. Dari analisis diperoleh nilai tegangan stress sebesar 6,67625 N/mm<sup>2</sup> sedangkan batas nilai minimum sebesar 199,73 N/mm<sup>2</sup>. Hasil evaluasi dari analisis pada struktur tersebut dapat digunakan dalam desain landasan untuk perangkat brachytherapy MDR.*

*Kata kunci: Kekuatan, Landasan, Aluminium, brachytherapy*

### ABSTRACT

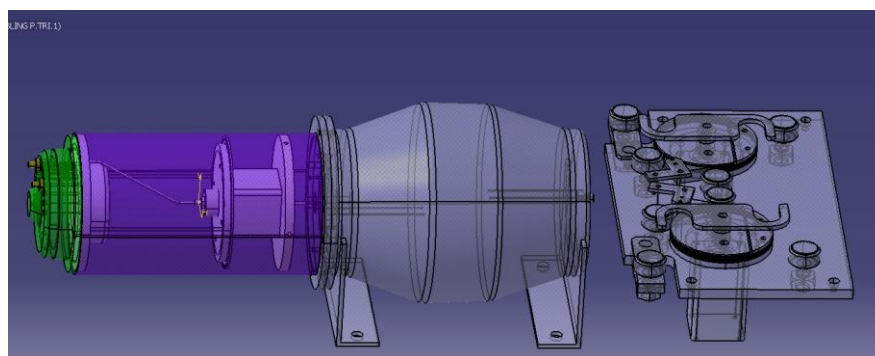
*THE STRENGTH ANALYSIS OF THE ALUMINUM ANVIL FOR THE MEDIUM DOSE RATE (MDR) BRACHYTHERAPHY EQUIPMENT. A strength analysis of the aluminium anvil for the medium dose rate (MDR) brachytherapy equipment has been performed. The analysis has evaluated the strength of anvil structure use in brachytherapy equipment. 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 N/mm<sup>2</sup> and it is still under the yield stress at 199,73 N/mm<sup>2</sup>. Evaluation results of the structure analysis can be used in designing the anvil for MDR brachytherapy equipment.*

*Keywords: Strength, Anvil, Aluminum, brachytherapy*

### 1. PENDAHULUAN

Pada saat ini (2011) Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir (PRPN) - BATAN sedang melakukan penelitian dan pengembangan perancangan *brachytherapy* MDR. Brakiterapi adalah teknik media terapi yang menggunakan *iradiasi Ir 192* untuk kanker servik<sup>[1]</sup>. Sistem mekanik perangkat *Brachytherapy* 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 *Brachytherapy*.<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 modu-modul perangkat *brachytherapy*. Dengan mempertimbangkan faktor beban atau berat tiap modulnya, analisis kekuatan landasan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan struktur landasan dalam mendukung modul perangkat *brachytherapy MDR* tersebut.



Gambar1a. Modul – modul dalam desain mekanik brachytherapy MDR



Gambar1b. Modul *Container* dan Penggerak *sling*



Gambar 1c. Modul *distributor chanel*

## 2. 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 brachytherapy adalah terbuat dari logam Aluminium. Sifat – sifat fisik aluminium ditunjukkan dalam table 1.

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

<b>Nama, Simbol, dan Nomor</b>	<b>Aluminium, Al, 13</b>
<b>Sifat Fisik Aluminium</b>	
<b>Wujud</b>	<b>Padat</b>
<b>Massa jenis</b>	<b>2,70 gram/cm<sup>3</sup></b>
<b>Massa jenis pada wujud cair</b>	<b>2,375 gram/cm<sup>3</sup></b>
<b>Titik lebur</b>	<b>933,47 K, 660,32 °C, 1220,58 °F</b>



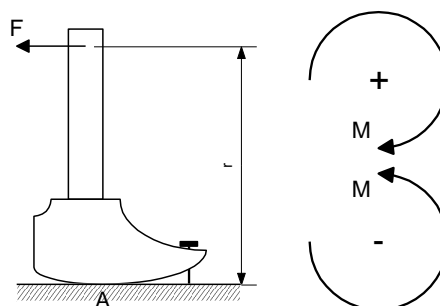
<b>Titik didih</b>	<b>2792 K, 2519 °C, 4566 °F</b>
<b>Kalor jenis (25 °C)</b>	<b>24,2 J/mol K</b>
<b>Resistansi listrik (20 °C)</b>	<b>28.2 nΩ m</b>
<b>Konduktivitas termal (300 K)</b>	<b>237 W/m K</b>
<b>Pemuaian termal (25 °C)</b>	<b>23.1 μm/m K</b>
<b>Modulus Young</b>	<b>70 Gpa</b>
<b>Modulus geser</b>	<b>26 Gpa</b>
<b>Poisson ratio</b>	<b>0,35</b>
<b>Yeild Stress</b>	<b>199,73 N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Kekerasan skala Mohs</b>	<b>2,75</b>
<b>Kekerasan skala Vickers</b>	<b>167 Mpa</b>
<b>Kekerasan skala Brinell</b>	<b>245 Mpa</b>

## 2.2. SISTEM GAYA <sup>[4]</sup>.

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

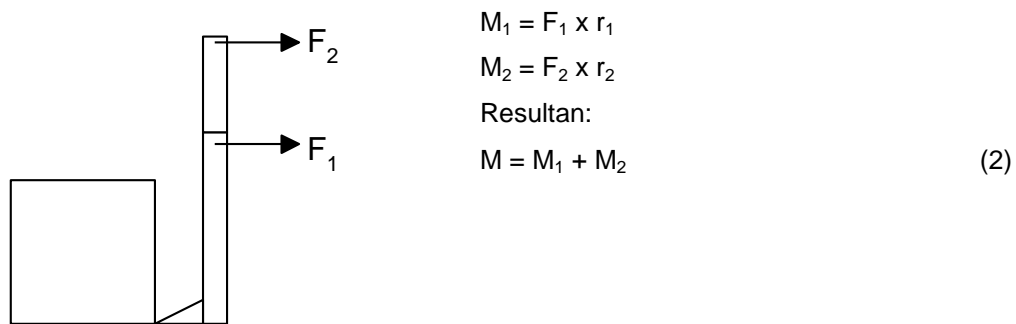
$$M = F \cdot r \quad (1)$$

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

- 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.

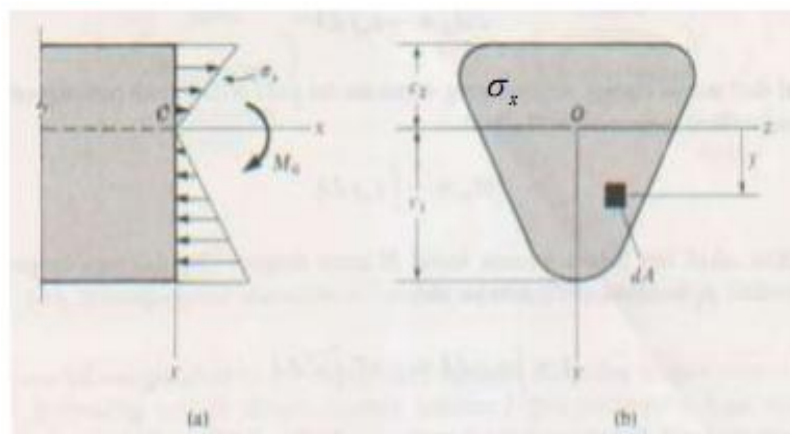
Beban samping (*lateral loads*) yang bekerja pada sebuah balok menyebabkan balok melengkung atau melentur, sehingga dengan demikian mendeformasikan sumbu balok menjadi suatu garis lengkung.

#### 2.3.2. Tipe -Tipe Lenturan

- 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).
- 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 berikut :

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (3)$$

Dengan :

$\sigma$  : 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:

$$\sigma_{maks} = \frac{Mc}{I} \text{ atau } \sigma_{maks} = \frac{M}{I/c}$$

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

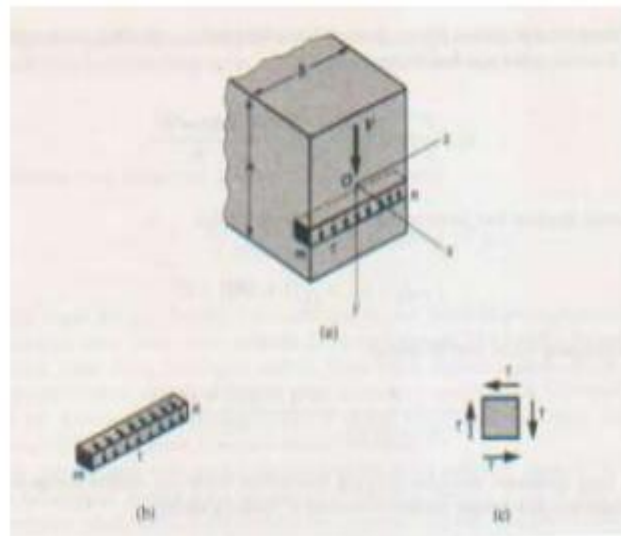
$$\sigma_{maks} = \frac{M}{Z}$$

#### 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 ( $\sigma_x$ ) 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  $\tau$  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>

$$\tau = \frac{V}{Ib} \int_{y_0}^c y da \quad (4)$$

Dimana,  $\tau$  = tegangan geser                       $V$  = gaya geser  
 $b$  = lebar penampang balok                       $I$  = momen-area kedua  
 $y da$  = momen-area pertama

### 3. TATA KERJA

Kegiatan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut ;

- Sketsa desain  
Pembuatan sketsa desain pada makalah ini bertujuan untuk memudahkan dalam penggambaran ilustrasi pada bagian yang akan dimodelkan
- Pemodelan struktur dan gaya  
Pemodelan struktur dan gaya yang ditampilkan adalah guna memberikan ilustrasi gambaran bentuk struktur dan gaya yang bekerja pada perangkat brachytherapy. 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 brachytherapy
- Perhitungan  
Menghitung gaya-gaya reaksi dan tegangan pada material

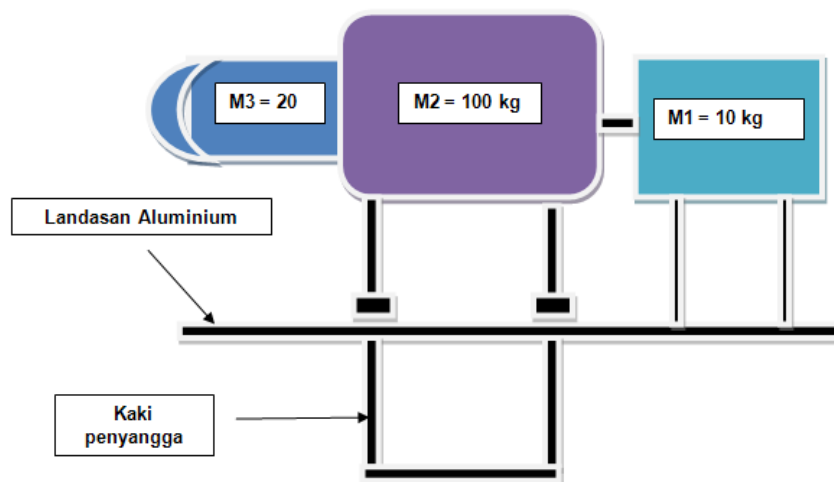


- Evaluasi keberterimaan desain.  
Evaluasi keberterimaan desain dilakukan setelah melakukan perhitungan - perhitungan dan memperoleh data yang cukup. Hasil perhitungan dibandingkan dengan teori ketetapan batas ambang kekuatan suatu bahan atau logam yang diijinkan

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

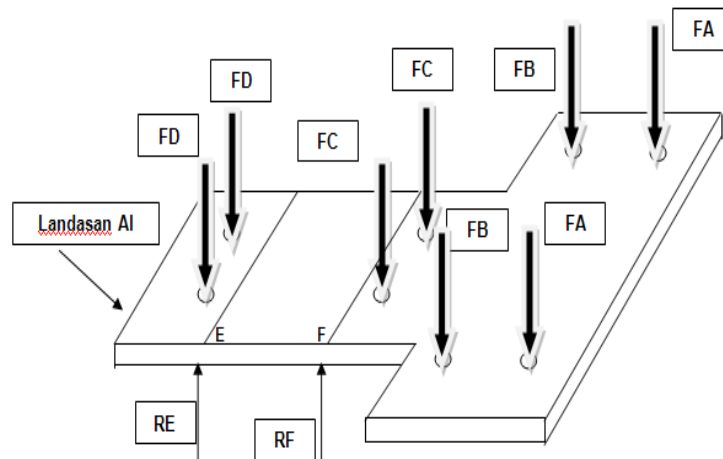
### 4.1. SKETSA DESAIN

Sketsa desain pada makalah ini dibuat sesuai dengan data - data yang diperoleh dari kegiatan perekayasa perangkat berakiterapi 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 Brachytherapy. Seperti ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Blok desain struktur brachytherapy

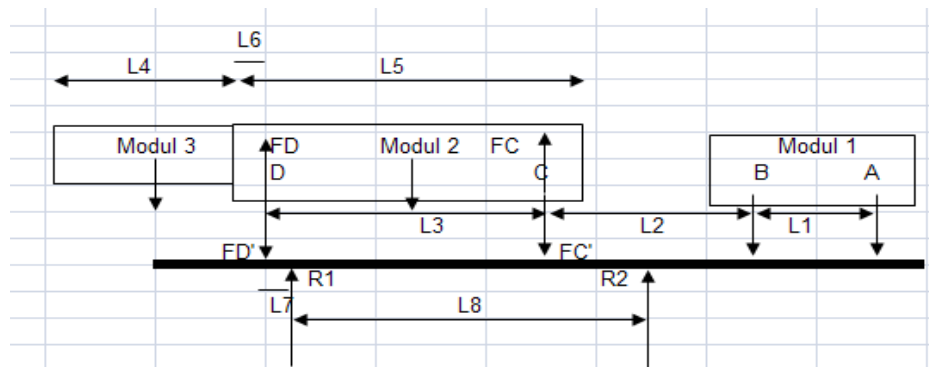
Modul modul yang dirangkai terdiri dari modul penggerak sling (M1), modul container (M2) dan modul distributor chanel (M3). M2 dirangkai M3 dengan baut. Sedangkan M2 dan M1 dihubungkan dengan tube. Tube bersifat fleksibel, sehingga diasumsikan tak ada gaya yang saling berinteraksi langsung antara kedua 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 Brachytherapy. 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 Brachytherapy. Landasan aluminium dimodelkan dengan garis seperti ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Pemodelan struktur dan gaya

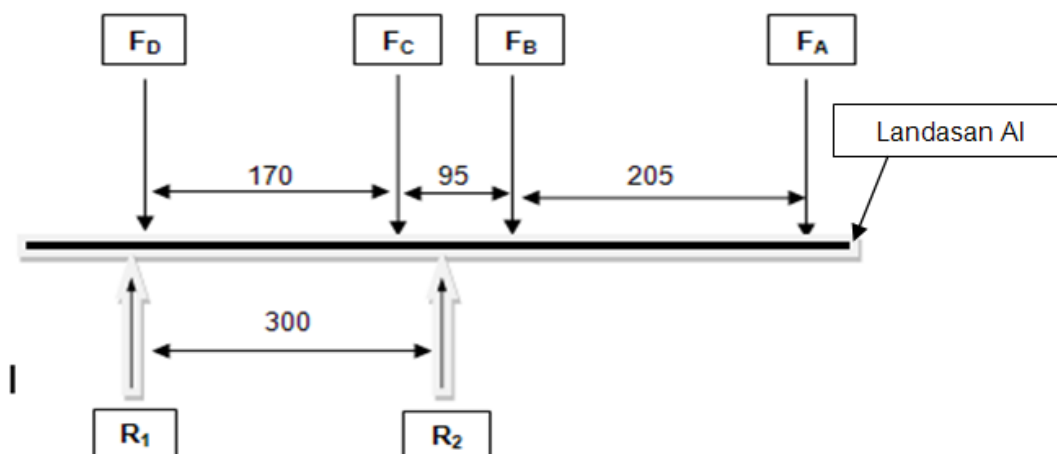
#### 4.3. PERHITUNGAN GAYA DAN TEGANGAN

Karena M1 dan M2 dihubungkan dengan tube fleksibel maka M1 diasumsikan terlepas dari M2. Dengan demikian beban M1 terbagi merata kedalam FA dan FB, seperti terlihat pada gambar 9. Besarnya FA dan FB dapat dihitung dengan persamaan (5).

$$F_A = F_B = \frac{1}{2} (M1 \times g) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} F_A = F_B &= \frac{1}{2} (M1 \times g) \\ &= \frac{1}{2} (10 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/det}^2) \\ &= 49 \text{ N} \end{aligned}$$



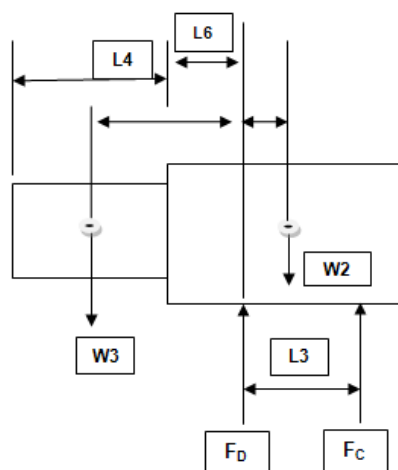


Gambar 9. Gaya-gaya yang bekerja pada landasan

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

$$\sum M = 0 \tag{6}$$

$$\sum F = 0 \tag{7}$$



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.

$$\sum M_D = 0$$

$$\Leftrightarrow - F_C \times L_3 + M_2 \times L_3/2 - M_3 \times (L_4/2 + L_6) = 0 \tag{8}$$



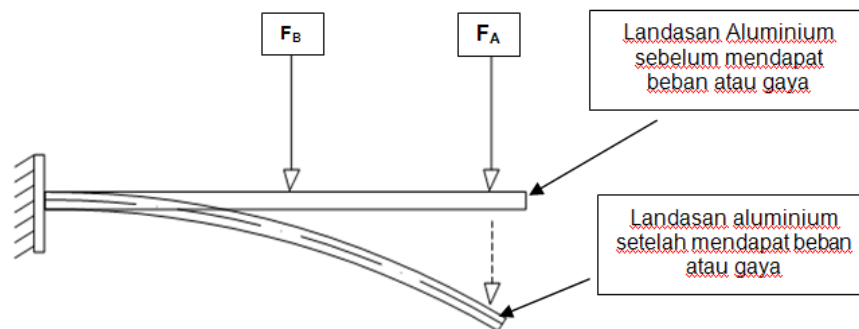
Gaya  $F_D$  dapat diperoleh karena jumlah seluruh gaya sama dengan nol sesuai dengan persamaan (7).

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

$$\begin{aligned} \Leftrightarrow -W_3 - W_2 + F_D + F_C &= 0 \\ \Leftrightarrow F_D &= W_2 + W_3 - F_C \\ &= 974,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Dari sini 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).

$$M_1 = F_A \times (L_1 + L_2) \quad (10)$$

$$M_2 = F_B \times L_2 \quad (11)$$

Pada titik pangkal ini akan menerima momen total

$$\begin{aligned} M_{\text{Total}} &= M_1 + M_2 \\ &= 26705 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Sesuai dengan persamaan (3) yang telah didiskusikan, momen total akan menyebabkan tegangan normal ( $\sigma$ ). Pada titik pangkal tegangan ( $\sigma$ ) akan mengalami ...pada permukaan atas dengan demikian nilai  $y$  adalah  $\frac{1}{2}$  ketebalan. 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

$$I = b \cdot h^3 / 12 \quad (12)$$



Dengan :

b adalah lebar plat  
h adalah ketebalan plat

Aplikasi numerik menghantarkan pada nilai – nilai berikut :

$$I = 2000 \text{ mm}^4$$

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

#### 4.4. KEBERTERIMAAN DESAIN

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

#### 5. KESIMPULAN

Analisis yang dilakukan pada kekuatan landasan Aluminium perangkat *brachytherapy* diperoleh bahwa tegangan *stress* yang didapat sebesar  $6,676 \text{ N/mm}^2$ . Tegangan itu masih dibawah batas ambang kekuatan tegangan *stress* pada pelat logam Aluminium yaitu sebesar  $119,838 \text{ N/mm}^2$ . Hasil evaluasi dari analisis pada struktur tersebut dapat digunakan dalam desain landasan untuk perangkat *Brachytherapy MDR*

#### 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami tujukan kepada kementerian Riset dan teknologi yang telah mengijinkan terlaksananya kegiatan PIPKPP – 2011

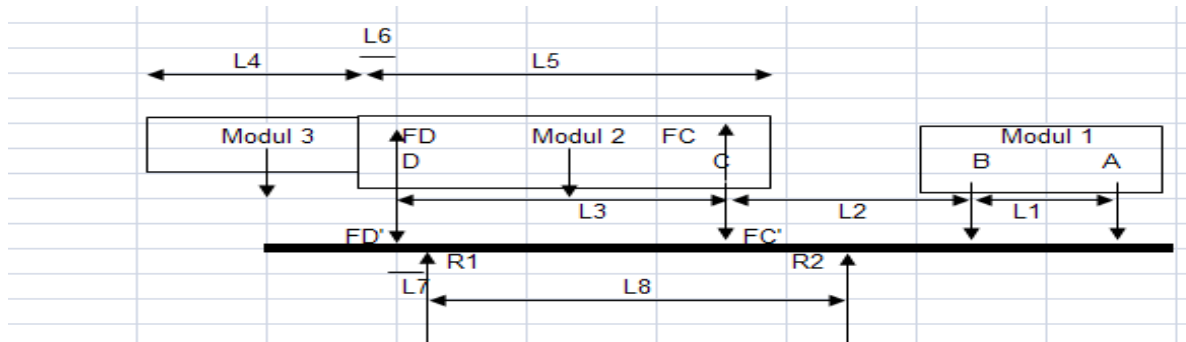
#### 7. DAFTAR PUSTAKA

1. ATANG SUSILA, ARI SATMOKO, AHMAD RIFAI dan KRISTİYANTI “ Perekayasaan Berakiterapi MDR” Jurnal Perangkat Nuklir volume 05, no 01. Mei 2011, Serpong 2011
2. ARI SATMOKO. Laporan Teknis Perekayasaan Perangkat Loading – Unloading Isotop Brakiterapi Untuk penyembuhan kanker servik. BATAN-RPN-L-2011-010072, 24 Oktober 2011.
3. Sumber : <http://www.scribd.com/doc/25300537/Makalah-Aluminium>
4. Anonim, Menghitung momen gaya dalam statika, Tim fakultas teknik Universitas Negeri Yogyakarta, edisi 2001, Yogyakarta
5. SOEKRISNO, MALIKI, A.K., Statika Struktur: Plus Tegangan Regangan, Mitra Cendekia, Yogyakarta, 1997Kamarwan, Sidharta S., Statika: bagian dari Mekanika Teknik, jilid 2, UI Press, Jakarta, 1984



## 8. LAMPIRAN

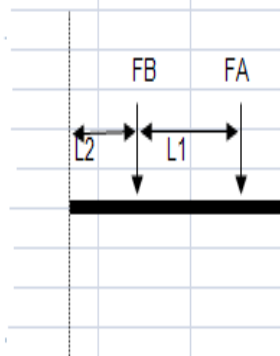
Lembar perhitungan menggunakan Excel



Catatan: jika M3 = 0 maka beban modul M2 tersebar merata ke FD dan FC

Massa		Gaya		Panjang (mm)	
M1 (kg)	10	FA (N)	49	L1	205
M2 (kg)	100	FB (N)	49	L2	95
M3 (kg)	20	FD (N)	974.2353	L3	170
		FC (N)	201.7647	L4	400
				L5	300
		FC'(N)	201.7647	L6	50
		FD'(N)	974.2353	L7	0
				L8	300

Perhitungan kekuatan bahan



Tegangan normal pada suatu balok digambarkan oleh persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

Dimana,

$\sigma$  : tegangan normal

$M$  : momen lentur pada penampang

$y$  : jarak dari sumbu netral ke tegangan normal

$I$  : momen inersia

Gambar 10. Pemodelan landasan menggantung



FA	FB	L1	L2	tebal	lebar	F total
49	49	205	170	10	240	1274

M=FA*(L1*A (mm2)	I (mm4)	y	Tegangan	Tegangan geser
26705	2400	20000	5	6.67625 0.530833



PERTANYAAN :

1. Mengapa beban maximum terjadi antara modul 2 dan modul 3, padahal bahan pada modul terbuat dari alumunium, tolong dihitung. (BANDI PARAPAK)
2. Mengapa bahan yang digunakan Aluminium apa alasanya ?dilihat dari sisi ekonomis dibanding dgn menggunakan logam lain? (FERY SUJATNO)
3. Yang dihitung Stress atau Momen?(MARADU SIBARANI)

JAWABAN :

1. Ada kesalahpengertian, bahwa modul 2 dan modul 3 dirangkai menjadi satu. Kaki – kaki disediakan untuk menyangga kedua modul tersebut. Otomatis semua beban bertumpu pada kaki-kaki tersebut. Sepasang kaki-kaki mempunyai posisi di antara modul 2 dan modul 3, pada kaki inilah sebagian besar berat kedua modul bertumpu. Kami tegaskan, pemodelan dan perhitungan sudah benar.
2. Tujuan dari analisis adalah utk mengetahui kekuatan struktur landasan aluminium sedangkan penggunaan bahan Al karena ketersediaan bahan yang ada di bengkel PRPN
3. mencari momen untuk menghitung stress