

**PERHITUNGAN KECEPATAN FLUIDA UNTUK PENDINGINAN  
Ti FOIL PADA WINDOW AKSELERATOR ELEKTRON  
ENERGI TINGGI**

Hafni Lissa Nuri, Ausatha Rabbanny Yanto  
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – BATAN  
Gedung 71, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314

[hafniln@batan.go.id](mailto:hafniln@batan.go.id)

**ABSTRAK**

**PERHITUNGAN KECEPATAN FLUIDA UNTUK PENDINGINAN Ti FOIL PADA WINDOW AKSELERATOR ELEKTRON ENERGI TINGGI.** Akselerator elektron energi tinggi (AEET) 10 MeV jika sedang dioperasikan maka Ti foil pada window akan menyerap panas dari berkas elektron. Ti foil tersebut akan mengalami kenaikan suhu yang cukup tinggi yang mendekati titik lelehnya. Untuk mencegah terjadinya perubahan bentuk atau deformasi dan rusaknya bahan Ti foil maka suhu dipertahankan dibawah 600°K. Ti foil perlu didinginkan dengan udara yang dihembuskan oleh fan dengan sistem konveksi paksa. Dari hasil perhitungan diperoleh kecepatan udara sebesar 60 m/detik dan suhu pada permukaan Ti foil dipertahankan pada 275°C atau 548°K dan lebih kecil dari 600°K. Dengan demikian kondisi Ti foil terjaga dari deformasi dan kerusakan sehingga Ti foil akan cukup lama untuk digunakan. Fan dipilih jenis sentrifugal backward curved satu masukan (single suction) dengan range puncak efisiensi berada antara 79%-84%. Fan tersebut mempunyai margin keselamatan 50% dan ketahanan material yang tinggi. Fan juga mempunyai Specific Ratio atau perbandingan antara tekanan keluar dan masuk sebesar < 1,11 dan kenaikan tekanan tidak lebih dari 1136 mmWg berdasarkan standar American Society of Mechanical Engineers (ASME).

Kata kunci : Fluida, Ti Foil, AEET, fan.

**ABSTRACT**

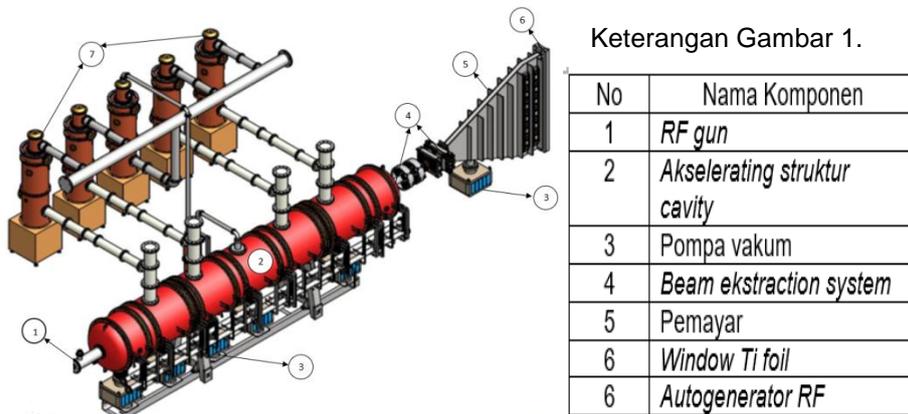
**A CALCULATION OF FLUID SPEEDS FOR Ti FOIL COOLING IN HIGH ENERGY ELECTRON ACCELERATOR WINDOW.** High energy electron accelerator (AEET) when being operated causes its Ti foil in the window to absorb heat from the electron beam. The Ti foil will increase its temperature highly enough to approach its melting point. Therefore, the Ti foil needs to be cooled with air that is exhaled by a fan with a forced convection system. From the calculation results, the air velocity is 60 m / s and the temperature on the surface of the Ti foil will be maintained at 275°C or 548°K which is smaller than 600°K. Thus the condition of the Ti foil can be maintained from deformation and damage so that it will make longer its life time. The selected fan is a centrifugal backward curved single suction type with a peak efficiency range of 79% -84%. The fan has a safety margin of 50% with high material resistance. The fan also has a Specific Ratio or comparison between in and out pressure of <1.11 and an increase in pressure is no more than 1136 mmWg according to the American Society of Mechanical Engineers (ASME) standards.

Keywords: Fluida, Ti Foil, AEET, fan.

**1. PENDAHULUAN**

Akselerator Elektron Energi Tinggi (AEET) merupakan salah satu jenis mesin berkas elektron (MBE) yang dimanfaatkan untuk mengiradiasi bahan hasil pertanian dan hasil industri seperti alat kesehatan, obat-obatan sehingga bahan-bahan tersebut menjadi steril. Akselerator energi tinggi dengan daya 10 MeV dan power 50 KWatt rencananya akan dibangun di Puspipstek Serpong dan digunakan khusus untuk sterilisasi alat kesehatan dan obat-obatan. Akselerator merupakan alat yang terdiri

dari beberapa komponen seperti diantaranya adalah *RF gun*, *akselerating cavity*, *autogenerator RF*, *beam extraction system*, pemayar, pompa vakum, *window* dan lain-lainnya. Alat Akselerator Elektron Energi Tinggi seperti pada Gambar 1<sup>[1]</sup>.



Gambar 1. Akselerator Elektron Energi Tinggi (AEET).

Di dalam AEET, elektron yang dihasilkan berasal dari sumber elektron gun dengan filamen katoda yang terbuat dari LaB6. Selanjutnya berkas elektron dilewatkan melalui tabung pemercepat vakum (*Accelerating Cavity*) untuk dinaikkan energinya hingga mencapai 10 MeV. Agar berkas elektron dapat mengenai seluruh permukaan material yang diiradiasi maka berkas elektron dikeluarkan dari tabung pemercepat dan disapukan (*scanned*) menggunakan sistem pemayar menggunakan sistem pemayar (*scanning system*) serta dikeluarkan menuju target melalui jendela (*window*). *Window* yang terbuat dari bahan Ti foil, harus mampu menahan tekanan atmosfer, dikarenakan *window* mempunyai fungsi untuk memisahkan tekanan udara atmosfer dengan tekanan hampa di dalam mesin AEET. Berkas elektron saat melewati *window* Ti foil akan kehilangan sebagian energinya dan energi ini berubah menjadi panas maka *window* harus didinginkan. Untuk mendinginkannya Ti foil dilakukan dengan menghembuskan udara ke permukaan *window* dengan sistem konveksi paksa. Pendinginan ini sangat penting karena jika tidak didinginkan akan terjadi pemanasan yang menyebabkan terjadinya deformasi atau perubahan bentuk Ti foil yang akan menurunkan kekuatan mekanisnya sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan. Berdasarkan hasil penelitian Abhay Kumar bahwa batas suhu pada Ti foil adalah suhu 600°K agar tidak terjadi kerusakan dan kebakaran pada Ti foil<sup>[2]</sup>.

## 2. DASAR TEORI

Pada saat berkas elektron melalui window Ti Foil maka terjadi penyerapan energi oleh Ti Foil dan terdispersi menjadi panas yang suhunya diatas 600°K. Ti Foil pada *window* AEET 10 MeV adalah lempengan logam tipis berbentuk datar dengan ukuran dimensi 1200x100x0,05 mm. Untuk menghindari perubahan bentuk dan kerusakan pada Ti Foil maka dilakukan pendinginan pada Ti foilnya agar suhu turun dan dipertahankan pada <600°K. Pendinginan Ti foil sangat ditentukan oleh kecepatan udara yang dihembuskan oleh *fan* sehingga dapat diketahui suhu pada Ti foilnya<sup>[1,2,3]</sup>.

Untuk mengetahui kecepatan udara dan suhu pada permukaan Ti Foil maka dilakukan tahapan perhitungan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

### a. Perhitungan Jumlah Energi yang Diserap Ti Foil

$$q = \frac{dE}{dx} \times d \quad (1)$$

Energi elektron yang hilang ( $q$ ) akibat adanya interaksi antara elektron dan materi saat melewati *Ti Foil* dapat dihitung menggunakan persamaan 1. Kemudian dikonversikan menjadi satuan Joule/detik. Energi yang hilang ini kemudian dianggap sebagai energi yang menyebabkan peningkatan suhu pada *Ti Foil*.

**b. Perhitungan Lapisan Batas Laminar (*Laminar Boundary Layer*)**

Lapisan batas termal merupakan daerah dimana masih terdapat gradien suhu dalam aliran akibat proses pertukaran kalor antara fluida dan dinding. Sementara lapisan batas hidrodinamik adalah daerah aliran dimana gaya-gaya viscous dirasakan. Digunakan aliran yang bersifat laminar yang artinya bilangan Reynold ( $Re$ )  $< 5 \times 10^5$ . Diharapkan interaksi yang terjadi saat aliran udara yang dialirkan kearah *Ti foil* dari sudut tertentu tidak terlalu mempengaruhi kekuatan material *Ti Foil* yang sangat tipis. Gesekan yang disebabkan oleh aliran laminar lebih kecil jika dibandingkan dengan gesekan yang disebabkan oleh aliran turbulen. Akan tetapi aliran laminar lebih tidak stabil jika dibandingkan dengan aliran turbulen. Saat aliran mengalir dari awal awal ke akhir sistem, *boundary layer* akan menebal. Suhu film pada *Laminar Boundary layer* dapat didekati dengan persamaan:

$$T_f = \frac{(T_s + T_\infty)}{2} \tag{2}$$

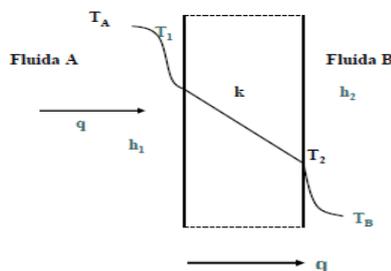
$T_f$  = Suhu Film  
 $T_s$  = Suhu Permukaan Benda  
 $T_\infty$  = Suhu Udara yang Dialirkan

**c. Perpindahan Panas Menyeluruh (*Overall Heat Transfer Coefficient*)**

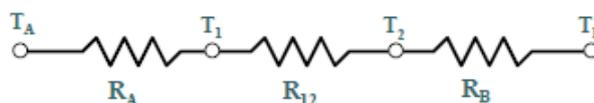
Pada *Ti Foil* terjadi perpindahan panas gabungan antara konduksi dan konveksi, perpindahan panas konduksi terjadi pada *Ti Foil*. Sedangkan perpindahan panas konveksi yang terjadi adalah konveksi paksa yang diperankan oleh aliran fluida pendingin dimana fluida yang digunakan adalah udara. Perpindahan panas menyeluruh ( $Q$ ) dinyatakan dengan persamaan:

$$Q = UA \Delta T \tag{3}$$

Panas atau kalor ( $Q$ ) yang dipindahkan adalah sebanding dengan koefisien perpindahan panas menyeluruh ( $U$ ) dikalikan dengan luas permukaan ( $A$ ) dan selisih suhu ( $\Delta T$ ). Mekanisme perpindahan panas dapat dilihat pada Gambar 1 dan hambatan yang terjadi dianalogkan seperti hambatan arus listrik (Gambar 2).



Gambar 1. Perpindahan panas melewati satu bidang datar



Gambar 2. Analogi Hambatan

Persamaan perpindahan panas menyeluruh (Q) dari persamaan (3) dapat dinyatakan dengan:

$$Q = \frac{(T_A - T_b)}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{\Delta x}{kA} + \frac{1}{h_2 A}} \quad (4)$$

$$= \frac{A(T_A - T_b)}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}} \quad (5)$$

Dari persamaan tersebut, koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) dapat dinyatakan dengan:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}} \quad (6)$$

$h_1$  = Koefisien Perpindahan Panas Konveksi fluida 1  
 $h_2$  = Koefisien Perpindahan Panas Konveksi fluida 2  
 $k$  = Konduktivitas termal benda yang dilewati  
 $\Delta x$  = Panjang karakteristik

**d. Perpindahan Panas Konveksi Paksa (*Forced Convection*)**

Pada *Ti foil* terjadi perpindahan panas gabungan antara konduksi dan konveksi paksa (lihat Gambar 1). Proses perpindahan panas konduksi terjadi pada saat panas berkas elektron diserap oleh logam *Ti foil* itu sendiri, sedangkan jenis perpindahan panas konveksi paksa terjadi dimana panas pada permukaan logam *Ti foil* diambil oleh aliran fluida dari luar yaitu udara yang dihembuskan oleh *fan*. Konveksi paksa erat kaitannya dengan adanya fluida yang dialirkan pada suatu sistem. Fluida yang dialirkan menggunakan kecepatan tertentu dan dapat diketahui bilangan Reynoldsnnya (Re). Bilangan Re dapat diketahui dengan persamaan:

$$Re = \frac{\rho U_{\infty} p}{\mu} \quad (7)$$

Pada aliran diatas plat, transisi dari aliran laminar menjadi turbulen terjadi bila  $Re > 5 \times 10^5$ . Untuk aliran sepanjang plat rata, lapisan batas selalu turbulen untuk  $Re \geq 4 \times 10^6$ . Aliran fluida dalam sistem pendingin *Ti Foil* bersifat laminar ( $Re < 5 \times 10^5$ ), maka dapat digunakan persamaan:

$$\overline{Nu}_L = 0,664 Re_L^{1/2} Pr^{1/3} \quad (8)$$

$N$  = Angka tak berdimensi Nusselt  
 $Re$  = Angka tak berdimensi Reynold  
 $Pr$  = Angka tak berdimensi Prandtl

Kemudian untuk mencari koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata menggunakan persamaan:

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{k} \quad (9)$$

$u$  = Angka tak berdimensi Nusselt  
 $h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi  
 $L$  = Panjang Karakteristik  
 $k$  = Koefisien perpindahan panas konduksi fluida

Kemudian untuk mencari perpindahan panas total per unit Panjang (menggunakan panjang karakteristik) dengan persamaan:

$$Q = \bar{h} L \Delta T \quad (10)$$

Untuk nilai memperoleh nilai Pr (Prandtl) digunakan persamaan:

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (11)$$

$C_p$  = Kapasitansi termal fluida

Angka Prandtl merupakan perbandingan antara perpindahan kalor secara difusi yang disebabkan oleh kekentalan fluida dan perpindahan kalor secara difusi yang disebabkan oleh sifat termal fluida. Jika  $Pr > 1$  maka perpindahan kalor secara difusi dominan disebabkan oleh kekentalan fluida begitu juga sebaliknya.

#### e. Perhitungan Aliran udara

Untuk menghitung aliran udara yang dihembuskan oleh *fan* bisa dihitung berdasarkan rumus yang ada atau berdasar *trial error* dengan dibatasi adanya suhu pada Ti foil. Jika kecepatan aliran udara dihitung berdasarkan rumus yang ada maka mengikuti persamaan sebagai berikut:

$$Total\ Pressure = Static\ Pressure + Velocity\ Pressure \quad (12)$$

Tekanan total merupakan jumlah dari tekanan statis dan tekanan yang dipengaruhi aliran. Tekanan total dapat berubah disebabkan oleh friction losses. Aliran pada *fan* dapat dihitung dengan menggunakan teori tabung pitot yang dikombinasikan dengan manometer. Sebelum menentukan kecepatan aliran, perlu dilakukan perhitungan terhadap densitas udara yang dialirkan. Densitas dapat berubah-ubah tergantung dimana dan berapa suhunya. Sehingga dapat didekati dengan persamaan:

$$Gas\ Density\ (\rho) = \frac{(273 \times 1,293)}{273 + t^{\circ}C} \quad (2)$$

$t^{\circ}C$  = Suhu fluida atau udara ditempat tersebut

Setelah menentukan densitas udara, kecepatan aliran dapat ditentukan melalui persamaan:

$$Velocity\ (v),\ m/s = \frac{(C_p \times \sqrt{2 \times 9,81 \times \Delta p \times \gamma})}{\gamma} \quad (3)$$

$C_p$  = Konstanta tabung pitot (0,85 atau sesuai spesifikasi pabrik)

$\Delta p$  = Perbedaan tekanan rata-rata

$\gamma$  = Densitas fluida atau udara

Kemudian untuk menghitung debit aliran dapat menggunakan persamaan:

$$Volumetric\ flow, \frac{m^3}{detik} = Velocity\ (v), \frac{m}{detik} \times Area\ (m^2) \quad (4)$$

Untuk menghitung efisiensi mekanik menggunakan persamaan:

$$Fan\ Mech.\ Efficiency\ (\eta_{mechanical}),\ \% = \frac{Volume\ \left(\frac{m^3}{detik}\right) \times \Delta p\ (Tekanan\ total\ dalam\ mmWC)}{102 \times daya\ masukan\ ke\ shaft\ (kW)} \times 100 \quad (5)$$

Untuk menghitung efisiensi statis menggunakan:

$$Fan\ Static\ Efficiency\ (\eta_{static}),\ \% = \frac{Volume\ \left(\frac{m^3}{detik}\right) \times \Delta p\ (Tekanan\ statik\ dalam\ mmWC)}{102 \times daya\ masukan\ ke\ shaft\ (kW)} \times 100 \quad (6)$$

Untuk menentukan jenis *fan* yang dipilih berdasarkan pada efisiensi yang tinggi, banyak digunakan di negara pengguna, margin keselamatan dan ketahanan materialnya<sup>[4]</sup>.

### 3. TATA KERJA

#### 3.1. Menghitung energi panas berkas elektron yang hilang (q)

Tabel 1. Data Fisis Berkas Elektron dan Ti Foil

No	Sifat Fisis	Nilai	Dimensi
1	<i>Specific loss of electron energy</i> (dE/dx)	8,9	MeV/cm
2	<i>Heat Capacity of Ti</i>	0,54	J/g.C
3	Densitas Ti	4,5	g/cm <sup>3</sup>
4	<i>Beam Current</i>	5	mA
5	Ti Foil		
	Panjang (p)	1,20	m
	Lebar (l)	0,10	m
	Tebal (d)	0,005	m

Menghitung jumlah energi panas dari berkas elektron yang hilang (q) berdasarkan pada persamaan 1:

$$q = \frac{dE}{dx} \times d$$

Dengan memasukkan nilai  $\frac{dE}{dx} = 8,9 \text{ MeV/cm}$  dan  $d=0,05 \text{ mm}$  (Tabel 1) maka diperoleh  $\Delta E$  sebesar  $0,0445 \text{ MeV}$  atau  $222,5 \text{ J/s} = 222,5 \text{ watt}$ .

#### 3.2 Menghitung kecepatan fluida udara dan Suhu Ti foil

Untuk menghitung kecepatan fluida udara dilakukan dengan *trial* sampai diperoleh panas yang diserap oleh udara (Q) dari permukaan Ti foil mendekati panas yang diserap oleh Ti Foil (q) dari berkas elektron. Dengan batasan bahwa suhu pada permukaan Ti foil  $<600^\circ\text{K}$  atau  $327^\circ\text{C}$ . Hasil perhitungan ada pada Tabel 2 dan 3.

- a. Perhitungan pertama, diambil kecepatan udara  $50 \text{ m/s}$  dan  $60 \text{ m/s}$  dengan suhu pada Ti foil ditetapkan  $100^\circ\text{C}$ .

Langkah ke 1. Menghitung bilangan Reynold (Re) dengan menggunakan persamaan (7):

$$Re = \frac{\rho V l}{\mu}$$

$\rho$  = densitas udara =  $1,0435 \text{ kg/m}^3$

$V$  = kecepatan aliran udara, diambil  $60 \text{ m/s}$  (trial)

$l$  = lebar Ti foil =  $0,1 \text{ m}$  (Tabel 1)

Diperoleh bilangan  $Re = 3,084\text{E}+05$  (aliran laminer).

Langkah ke 2. Menghitung bilangan Prandl (Pr) berdasarkan persamaan (11) atau bisa dihitung berdasarkan hasil pembagian diffusifitas termal udara ( $\alpha$ ) terhadap viskositas kinematik udara ( $\nu$ ), (data ada pada Tabel 2). Dari hasil perhitungan diperoleh  $Pr = \nu / \alpha = 7,188\text{E}-01$ .

Langkah ke 3. Menghitung bilangan Nusselt (Nu) berdasarkan persamaan (8):

$$\overline{Nu}_L = 0,664 Re_L^{1/2} Pr^{1/3}$$

$$= 0,664 (3,084E+05)^{1/2} (7,188E-01)^{1/3}$$

$$= 3,303E+02$$

Langkah ke 4. Menghitung koefisien perpindahan panas konveksi ( $\bar{h}$ ) dengan menggunakan persamaan (9):

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{k}$$

atau

$$\bar{h} = \frac{\overline{Nu}_L k}{L}$$

$$\bar{h} = (3,303E+02) (0,0285) / 0,1$$

$$= 5,873 \text{ w/m}^2 \text{ C}$$

Langkah ke 5. Menghitung panas yang diserap oleh udara (Q) dari Ti Foil, menggunakan persamaan (10):

$$Q = \bar{h} L (T_s + T_\infty) \text{ atau } = \bar{h} A \Delta T$$

$$= (5,873) \text{ w/m}^2 \text{ C } (1,2 \times 0,1) \text{ m}^2 (70) \text{ C}$$

$$= 65,772 \text{ watt}$$

Hasil perhitungan pertama ada pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan pertama

No	Keterangan	Nilai		Dimensi
1	- Trial 1. Kecepatan fluida (udara)	50	60	m/s
	- q (hasil perhitungan)	222,5	222,5	watt
	Ditetapkan :			
2	Suhu pada permukaan Ti Foil ( $T_s$ )	100	100	$^{\circ}\text{C}$
3	Suhu Udara ( $T_\infty$ )	30	30	$^{\circ}\text{C}$
4	Suhu rerata $(T_s + T_\infty)/2$	65	65	$^{\circ}\text{C}$
5	$\Delta T$	70	70	$^{\circ}\text{C}$
6	k (Ti)	0,15	0,15	w/cm- $^{\circ}\text{C}$
7	Densitas udara 65 $^{\circ}\text{C}$	1,0435	1,0435	kg/m <sup>3</sup>
8	Viskositas dinamik udara pada 65 $^{\circ}\text{C}$ [ $\mu$ ]	2,03E-05	2,03E-05	kg/m.s
9	Difusifitas termal udara pada 65 $^{\circ}\text{C}$ ( $\alpha$ )	2,706E-05	2,706E-05	m <sup>2</sup> /s
10	Viskositas kinematik udara pada 65 $^{\circ}\text{C}$ ( $\nu$ )	1,945E-05	1,945E-05	m <sup>2</sup> /s
11	Konduktivitas termal udara pada 65 $^{\circ}\text{C}$ (k)	0,0285	0,0285	w/m- $^{\circ}\text{K}$
	Hasil Perhitungan:			
12	Reynold Number (Re), aliran laminer	2,570E+05	3,084E+05	-
13	Prandtl Number (Pr)	7,188E-01	7,188E- 01	-
14	Nusselt Number (Nu)	3,015E+02	3,303E+02	-
15	h	5,361	5,873	w/m <sup>2</sup> - $^{\circ}\text{C}$
16	Q	60,04	65,77	watt

Dari hasil perhitungan pertama dengan kecepatan fluida udara 50 m/s dan 60 m/s pada suhu permukaan Ti foil 100 $^{\circ}\text{C}$  ternyata fluida tersebut belum mampu menyerap panas maksimum pada permukaan Ti foil ( $q < Q$ ).

- b. Perhitungan kedua, ditetapkan pada suhu permukaan Ti foil 275 $^{\circ}\text{C}$ . Hasil perhitungankedua ada pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan kedua

No	Keterangan	Nilai		Dimensi
1	Trial kedua Suhu Ti foil ( $T_s$ )	275	275	$^{\circ}\text{C}$
	Ditetapkan:			
3	Suhu Udara ( $T_{\infty}$ )	30	30	$^{\circ}\text{C}$
4	Suhu rerata $(T_s+T_{\infty})/2$	150	150	$^{\circ}\text{C}$
5	$\Delta T$	245	245	$^{\circ}\text{C}$
6	Kecepatan udara	50	60	m/s
7	k (Ti)	0,15	0,15	w/cm- $^{\circ}\text{C}$
8	Densitas udara 150 $^{\circ}\text{C}$	0,8345	0,8345	kg/m <sup>3</sup>
9	Viskositas dinamik udara pada 150 $^{\circ}\text{C}$	2,383E-05	2,383E-05	kg/m.s
10	Difusifitas termal udara pada 150 $^{\circ}\text{C}$ ( $\alpha$ )	4,160E-05	4,160E-05	m <sup>2</sup> /s
11	Viskositas kinematik udara pada 150 $^{\circ}\text{C}$ ( $\nu$ )	2,860E-05	2,860E-05	m <sup>2</sup> /s
12	Konduktivitas termal udara pada 150 $^{\circ}\text{C}$ (k)	0,0344	0,0344	w/m- $^{\circ}\text{K}$
	Hasil Perhitungan:			
13	Reynold Number (Re), aliran laminar	1,751E+05	2,101E+05	-
14	Prandtl Number (Pr)	6,875E-01	6,875E- 01	-
15	Nusselt Number (Nu)	2,452E+02	2,686E+02	-
16	h	5,273	5,776	w/m <sup>2</sup> - $^{\circ}\text{C}$
17	Q	206,7	226,4	Watt
18	q	222,5	222,5	Watt

Pada untuk Tabel 2 dan 3 bahwa koefisien seperti viskositas dinamik, difusifitas termal, viskositas kinemati dan konduktivitas diambil dari Tabel A-9 tentang "properties of air at 1 atm pressure"<sup>[5,6]</sup>.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan kecepatan fluida udara pada akselerator elektron energi tinggi (AEET) 10 MeV dengan ukuran window Ti foil 1200x100x0,5 mm, diperoleh hasil akhir sebagai berikut:

Panas yang diserap oleh Ti Foil (q) : 222,5 Watt  
 Kecepatan udara dari fan : 60 m/s  
 Suhu udara : 30 $^{\circ}\text{C}$   
 Suhu permukaan Ti foil : 275 $^{\circ}\text{C}$   
 Panas yang diserap oleh udara (Q) : 226,6 Watt

Dari hasil akhir tersebut diperoleh kecepatan udara dari fan sebesar 60 m/s (Tabel 3), dimana fluida udara tersebut dapat mengambil panas dari permukaan Ti foil sebesar 222,6 Watt. Panas yang diserap tersebut mendekati dengan panas yang diserap oleh Ti Foil dari berkas elektron sebesar 222,5 Watt. Selain itu diperoleh suhu permukaan Ti foil sebesar 275 $^{\circ}\text{C}$  atau 548 $^{\circ}\text{K}$  dimana suhu tersebut masih dibawah 600 $^{\circ}\text{K}$  sehingga Ti foil aman digunakan selama proses iradiasi karena tidak mengalami deformasi atau perubahan bentuk.

Aliran udara 60 m/s ternyata masih berada dalam aliran laminar kalau diperbesar lagi maka akan terjadi aliran turbulen ( $Re > 5 \times 10^5$ ) yang mengakibatkan friksi dengan Ti foil semakin besar yang mengakibatkan terjadinya abrasi. Dengan menetapkan kecepatan fan 60 m/s maka dipilih fan dengan tipe *bladebackward curved* dengan karakteristik dapat menghasilkan tekanan yang tinggi atau kecepatan aliran yang tinggi dengan efisiensi yang besar. Akan tetapi saat mendekati efisiensi tertinggi, tenaga atau

power *fan* akan berkurang. Hal lainnya yang menjadi pertimbangan dalam memilih desain ini adalah banyak digunakan pada berbagai aplikasi industri di Indonesia untuk jenis *fan* sentrifugal.

Hal-hal lain yang dipertimbangkan dalam memilih *fan* tipe *bladebackward curved* tersebut dikarenakan *fan* tersebut mempunyai margin keselamatan 50% dan ketahanan material yang tinggi. Untuk *fan* jenis sentrifugal *backward curved* satu masukan (*single suction*) dengan *range* puncak efisiensi berada antara 79%-84%. *Fan* tersebut mempunyai *Specific Ratio* atau antara tekanan keluar dan masuk sebesar  $< 1,11$  dan kenaikan tekanan tidak lebih dari 1136 mmWg berdasarkan standar *American Society of Mechanical Engineers (ASME)* [4].

## **5. KESIMPULAN**

Telah dilakukan perhitungan kecepatan udara untuk mendinginkan Ti foil yang mengalami kenaikan suhu yang tinggi apabila AEET sedang beroperasi. Hasil perhitungan bahwa kecepatan fluida udara sebesar 60 m/detik dapat mempertahankan suhu pada Ti foil sebesar 275 °C atau 548°K. Suhu tersebut lebih kecil dari 600°K sehingga Ti foil terhindar dari perubahan bentuk dan kerusakan yang diakibatkan oleh panas. Fluida udara dihembuskan oleh *fan* dengan sistem konveksi paksa dan dipilih *fan* jenis *blade back fan* tipe *bladebackward curved* tersebut dikarenakan *fan* tersebut mempunyai margin keselamatan 50% dan ketahanan material yang tinggi. Untuk *fan* jenis sentrifugal *backward curved* satu masukan (*single suction*) dengan *range* puncak efisiensi berada antara 79%-84%. *Fan* tersebut mempunyai *Specific Ratio* atau antara tekanan keluar dan masuk sebesar  $< 1,11$  dan kenaikan tekanan tidak lebih dari 1136 mmWg berdasarkan standar *American Society of Mechanical Engineers (ASME)*.

## **6. DAFTAR PUSTAKA**

- [1] EB Tech, 21 November 2018, *Training Program for 10 MeV EBM in Indonesia*, PRFN BATAN, Serpong.
- [2] Abhay Kumar, 2011, *Calculation of Air Speeds for Cooling Titanium Foils of High Power Electron Accelerator*, Raja Ramanna Centre for Advance Technology, India.
- [3] Sutadi, Suprpto, Suyamto, Sukaryono, Oktober 2013, *Analisis Pendinginan Udara Ruang Mesin Berkas Elektron 350 keV/20mA*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Vol.5. No. 1, PPNY BATAN, Yogyakarta.
- [4] IPS-E-PR-755, 1993, *Process Design of Fan and Blower*, General Standart to Standard Drawings, Edisi 6, Iran.
- [5] Keenan, Chao, Keyes, 1980, *Gas Tables and Thermophysical Properties of Matter*, vol. 3, Wiley, USA.
- [6] Touloukian, Y.S, 1970, *Thermal Conductivity*, IFI/Plenum, New York.