

# **KOMPONEN-KOMPONEN MESIN BERKAS ELEKTRON (MBE)**

**S u p a n d i, ST**

**PELATIHAN PETUGAS IRADIATOR**

**Pusdiklat-BATAN**

**JAKARTA 2016**

## A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Peserta dapat menjelaskan secara umum prinsip kerja mesin berkas electron dan komponen-komponen utamanya.

## B. INDIKATOR PEMBELAJARAN

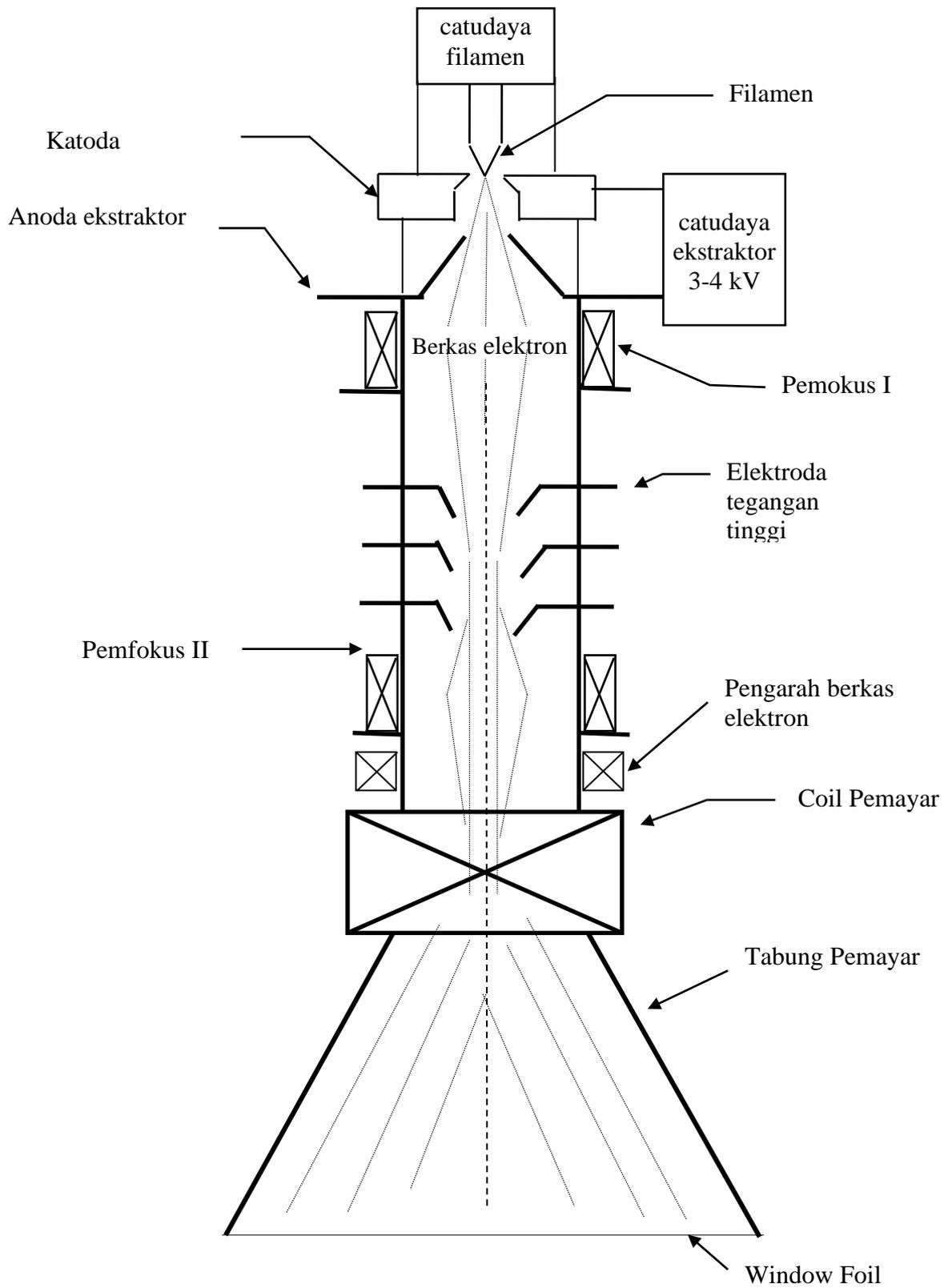
1. Peserta dapat menyebutkan komponen-komponen utama MBE
2. Peserta dapat menjelaskan secara singkat prinsip kerja masing-masing komponen
3. Peserta dapat menjelaskan secara singkat besaran parameter pengoperasian dan keterkaitannya dengan kondisi komponen-komponen utama MBE

## I. PENDAHULUAN

Mesin berkas elektron (MBE) adalah mesin yang berfungsi untuk menghasilkan sumber radiasi berkas elektron ( $e^-$ ) dengan energi maupun arus berkas elektron yang dapat diatur sesuai dengan spesifikasi mesin tersebut.

Prinsip kerja MBE seperti terlihat pada gambar : 1, dapat dijelaskan sebagai berikut : di dalam ruang vakum tinggi, elektron yang di pancarkan dari sumber elektron berturut-turut dilewatkan pada medan magnet pemfokus, tegangan pemercepat, medan magnet pengarah, medan magnet pemayar, kemudian menembus *window foil* dan diradiasikan pada sasaran yang berada diluar ruang vakum.

Pengenalan dan pengetahuan tentang komponen-komponen utama dari MBE terutama mengenai peranan masing masing komponen maupun prinsip kerjanya adalah sangat diperlukan untuk melaksanakan kegiatan-kegiatan yang berkaitan dengan pengoperasian, perawatan serta dosimetri.



Gambar 1 : Prinsip Kerja MBE

## II. KOMPONEN-KOMPONEN UTAMA MBE

Pada umumnya MBE terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu :

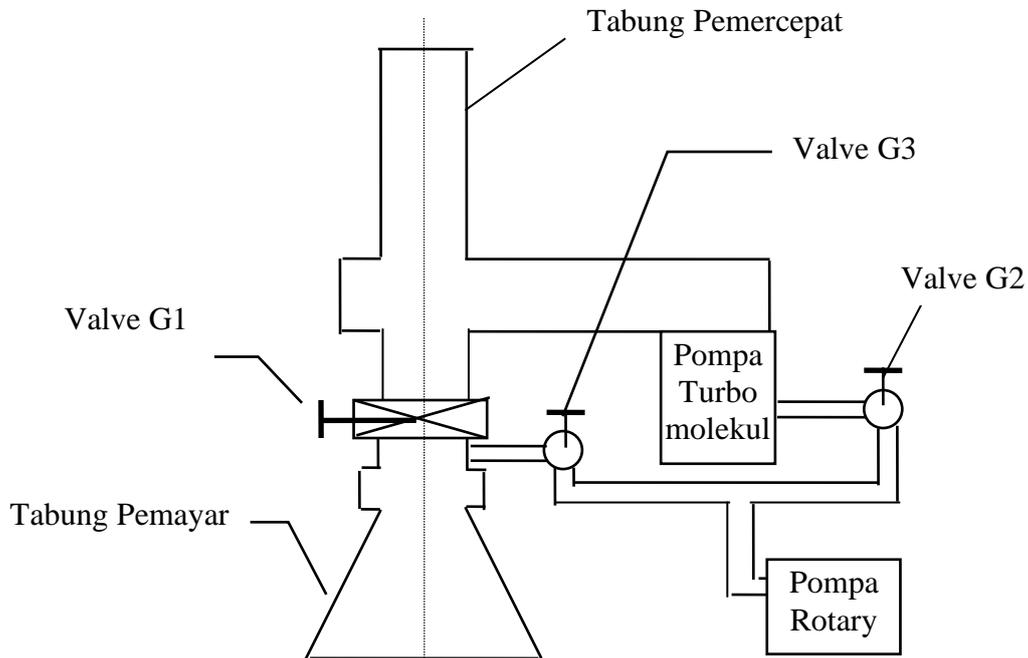
1. Sistem vakum
2. Pembangkit tegangan tinggi
3. Sumber elektron
4. Pemfokus berkas elektron
5. Pengarah berkas elektron
6. Tabung akselerator
7. Sistem pemayaran
8. Sistem Pengendali
9. Sistem Konveyor
10. Sistem Keselamatan

### II. 1. Sistem Vakum

Sistem vakum MBE terdiri dari ruang vakum, pompa vakum, katup (*Valve*), dan alat ukur vakum, berfungsi untuk mencapai, mengukur dan menjaga tingkat kevakuman yang diperlukan untuk beroperasinya MBE yaitu  $< 2 \times 10^{-6}$  torr. Semakin tinggi tingkat kevakuman yang dapat dicapai mempunyai pengaruh semakin baik terhadap beberapa parameter operasi. Sistem vakum untuk MBE pada umumnya terdiri dari :

- Pompa kasar : jangkau tekanan 750 torr s/d  $10^{-4}$  torr, digunakan Pompa Rotary, dengan alat ukur tekanan tipe Piranimeter
- Pompa Utama : jangkau tekanan  $2 \times 10^{-4}$  s/d  $10^{-12}$  torr, digunakan Pompa Difusi, Pompa Turbomolekul, Pompa Ion, Pompa Kriogenik, dengan alat ukur tekanan tipe Ionisasi.

Susunan instalasi sistem vakum maupun mekanisme pengoperasiannya ditentukan oleh jenis pompa yang digunakan. Contoh instalasi sistem vakum menggunakan pompa turbomolekul seperti terlihat pada gambar 6.



Gambar 6 : Skema sistem Vakum MBE GJ -2

Ukuran tingkat kevakuman dinyatakan dengan tekanan dan biasanya terukur dalam satuan torr, Pa, maupun mbar, dengan konversi satuan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 1 \text{ torr} &= 1 \text{ mm Hg} &= 1,36 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2 \\
 & &= 1,315 \times 10^{-3} \text{ Atm} \\
 & &= 0,01934 \text{ psi (lbf/inch}^2\text{)} \\
 & &= 133,33 \text{ Pa (Pa = N/m}^2\text{)} \\
 & &= 1,333 \text{ mbar}
 \end{aligned}$$

## II.2. Pembangkit Tegangan Tinggi

Ada beberapa jenis pembangkit tegangan tinggi yang biasa dipakai dalam MBE, antara lain yaitu :

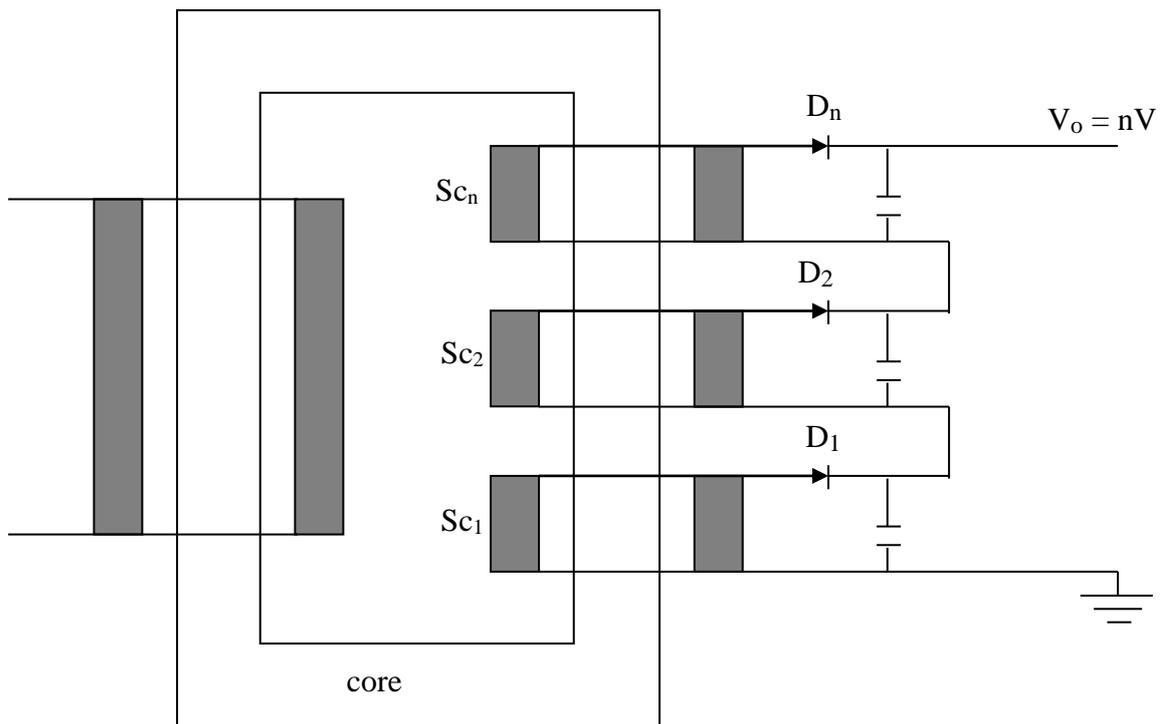
### 1) Transformator

Salah satu contoh dari jenis transformator adalah Transformator Inti Terinsulasi (Insulated Core Transformer)

Tegangan keluaran yang dihasilkan ( $V_o$ ) adalah jumlahan secara seri dari tegangan DC hasil penyearahan beberapa tegangan sekunder

$$V_o = n V$$

Kumparan sekunder harus terinsulasi terhadap inti dan kumparan primer diatas teganga  $n V$



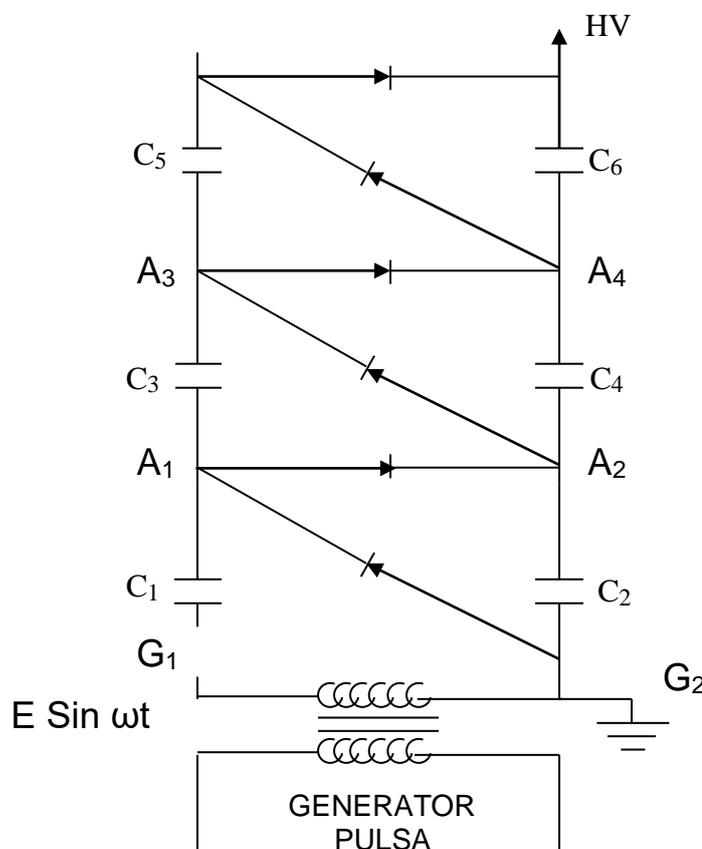
Gambar.2 : Insulated Core Transformer (ICT) High Voltage Power Suplay

## 2) Cockcroft-Walton

Sistem pembangkit tegangan tinggi yang terdiri dari :

- Sumber tegangan osilasi (Osilator)
- Transformator pendorong
- Rangkaian pelipat tegangan
- Terminal tegangan tinggi

Prinsip kerja : Tegangan osilasi dari osilator melalui transformator pendorong digunakan sebagai masukan bagi sistem pelipat tegangan. Pelipat tegangan berupa susunan beberapa tingkat pengganda tegangan, setiap tingkat terdiri dari dua buah kapasitor dan dua buah penyearah (dioda) yang berfungsi untuk merubah dan melipatkan tegangan AC masukan menjadi tegangan DC sebagai keluaran.

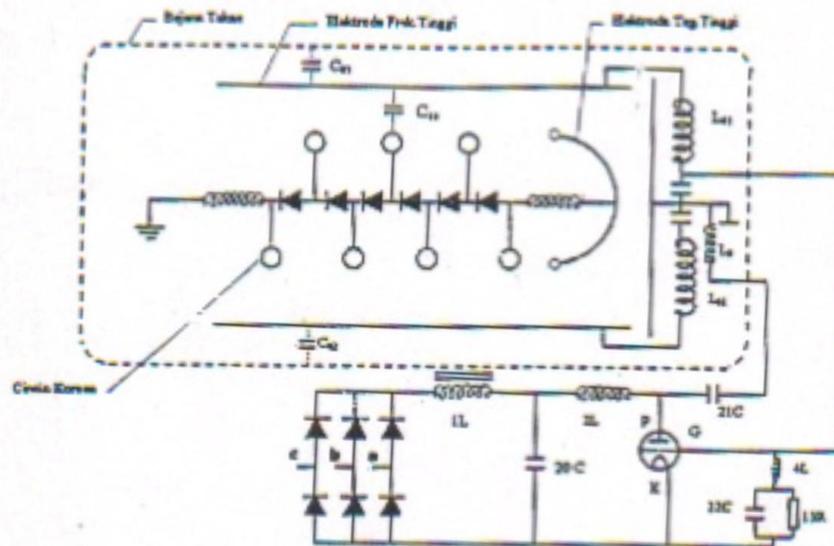


Gambar 3 :Skema generator tegangan tinggi Cockroft Walton

### 3) Dynamitron

Seperti terlihat pada gambar 4, dengan prinsip kerja : tegangan dan frekuensi osilasi dari osilator digandakan melalui transformator RF (RF = radio frekuensi) kemudian diumpankan pada elektroda RF. Struktur

elektroda RF yang berbentuk semi silindris dengan cincin corona yang berbentuk semi lingkaran membentuk kapasitor untuk menghubungkan energi RF ke rangkaian dioda yang mengubah tegangan bolak-balik menjadi tegangan searah.



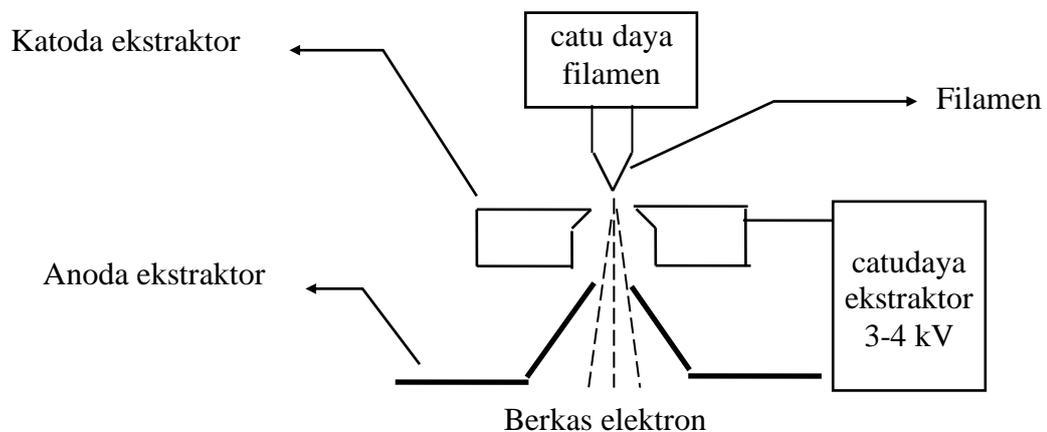
Rangkaian Sistem Pembangkit Tegangan Tinggi  
MBE 2 MeV / 10 mA , tipe Dynamitron

### II. 3. Sumber Elektron

Prinsip kerja sumber elektron dapat dijelaskan seperti terlihat pada gambar 5. Sumber elektron yang biasa digunakan adalah dari bahan padat berupa filamen, dengan diberi catu daya listrik yang besarnya dapat diatur supaya dapat menghasilkan arus berkas elektron yang sesuai dengan spesifikasi rancangannya.

Berdasarkan pada konstruksi dari sumber elektron, dibedakan dalam 2 kategori yaitu : sumber titik dan sumber garis lurus. Sumber titik pada umumnya menggunakan filamen dengan bentuk spiral atau U, sedangkan untuk sumber garis lurus dengan filamen berbentuk *helical spiral*.

Bahan filamen yang biasa digunakan adalah ; Tungsten, Tantalum, serta  $\text{LaB}_6$ .



Gambar 5 : Prinsip Kerja Sumber Elektron

#### II. 4. Pemfokus berkas elektron.

Pemfokus berkas elektron berfungsi untuk menjaga agar elektron tetap berada pada sumbu lintasan pemercepatnya. Apabila sistem pemfokus tidak berfungsi dengan baik dan menyebabkan lintasan berkas elektron menyebar (tidak fokus) sehingga mengenai dinding tabung pemercepat, maka energi yang terakumulasi pada dinding dapat menyebabkan kerusakan/kebocoran dinding. Prinsip kerja pemfokusan adalah berdasarkan teori bahwa ruang disekitar muatan listrik yang bergerak adalah medan magnet dan muatan lain yang bergerak dalam medan magnet akan mengalami gaya magnet ( $F$ ) sebesar :

$$F = qv \times B$$

Dengan :

$F$  =Gaya yang dialami zarah bermuatan (N)

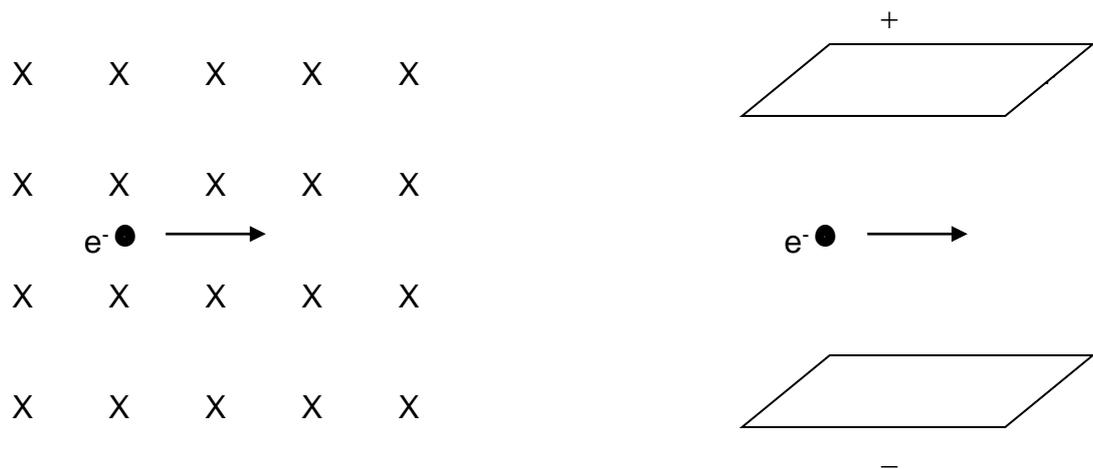
$q$  = muatan zarah (Coulomb)

$v$  = Kecepatan zarah (m/dt)

$B$  =Medan magnet  $NC^{-1}m^{-1}S = T$  (Tesla)

Hubungan antara arah arus ( $i$ ) dan arah medan magnet ( $B$ ) dapat dijelaskan dengan kaidah sekrup kanan yaitu bila diputar sesuai arah arus ( $i$ ) maka arah majunya sama dengan arah medan magnet ( $B$ ).

Dengan diketahui arah medan magnet dan arah partikel bermuatan yang melintasinya maka dapat ditentukan arah gaya yang dialami zarah bermuatan tersebut. Di dalam medan magnet, arah gaya yang dialami oleh partikel bermuatan positif berbeda dengan yang bermuatan negatif.



⇒ Tentukan arah gaya ( $F$ ) yang dialami elektron ?

Kondisi fokus pada MBE secara umum dipengaruhi oleh energi berkas elektron, spesifikasi teknis tabung lintasan berkas, coil pemfokus, dan arus pada coil pemfokus. Dalam kegiatan pengoperasian diperlukan pengaturan suplai arus/tegangan pemfokus yang sesuai terhadap energi berkas elektron, besar arus yang diperlukan biasanya sudah ditentukan dan tercantum dalam instruction manual. Suplai arus/tegangan untuk sistem pemfokus terkait erat dengan keselamatan operasi MBE, maka terhubung secara interlok terhadap sistem tegangan tinggi.

## II. 5. Tabung akselerator

Tabung akselerator MBE merupakan tabung untuk mempercepat elektron dengan cara memberi beda potensial pada elektroda-elektroda yang

dipisahkan oleh isolator dan ditempatkan di antara kedua ujung tabung tersebut. Tabung akselerator terdiri dari :

- Isolator, biasanya terbuat dari bahan glas, keramik, porselen yang ukurannya dipertimbangkan pada kekuatan dielektrik maupun mekanik.
- Elektroda, biasanya dari bahan Stainless-steel, Titanium, Aluminium alloy.
- Resistor pembagi tegangan, dalam ratusan mega ohm dan puluhan KV , biasanya terbuat dari bahan Nikel.

## II. 6. Sistem pemayaran

Prinsip operasi :

- Membelokkan berkas elektron dari arah semula dengan menggunakan dua medan magnet yang saling tegak lurus ( $B_1$  tegak lurus  $B_2$  ).
- Dengan frekuensi cukup tinggi untuk memberikan iradiasi yang seragam pada bahan yang bergerak tegak lurus terhadap arah berkas
- Sudut pembelokan maksimum berkas elektron dalam sistem pemayar  $< 30^\circ$

Bagian-bagian sistem pemayaran :

- Scanning coil, berupa sepasang coil dengan jumlah lilitan dan ukuran tertentu dipasang secara parallel di bagian ujung/awal dari tabung pemayaran.
- Tabung pemayaran, biasanya terbuat dari bahan stainless-steel, dengan bentuk tabung seperti terlihat pada gambar : 1, berfungsi menyediakan ruang vakum bagi lintasan berkas elektron yang tersapu melebar setelah melewati medan magnet pemayar.
- Window Foil, biasanya terbuat dari bahan Titanium, berfungsi sebagai penyekat ruang vakum didalam tabung pemayar terhadap tekanan udara luar. Window foil terletak pada sisi yang berhadapan langsung dengan ruang bahan yang diradiasi, berupa lembaran sangat tipis dengan ketebalan  $30 \mu\text{m} - 50 \mu\text{m}$ , sehingga fraksi kehilangan energi berkas elektron yang menembus/melewatinya sangat kecil (dapat diabaikan).

- Pendingin Window Foil, dapat berupa pendinginan dengan udara, air, maupun dengan gas Nitrogen, berfungsi untuk menjaga temperatur window foil dari pengaruh akumulasi energi berkas elektron melewatinya, sehingga tetap mampu mempertahankan kondisi vakum. Apabila sistem pendingin tidak berfungsi dengan baik maka temperatur window foil akan meningkat dan berpengaruh langsung terhadap kondisi vakum.

## II. 7. Sistem Konveyor

Konveyor merupakan peralatan penting bagi instalasi MBE, berfungsi untuk : membawa sample masuk ke ruang iradiasi, pada saat diradiasi dan membawa keluar setelah selesai diradiasi. Terutama untuk mencegah terjadinya kerusakan bahan yang diradiasi dari resiko over dosis maupun menghindari terputusnya proses radiasi, maka diperlukan sistem interlok antara konveyor dengan sistem tegangan tinggi.

## II. 8. Sistem Pengendali

Pada dasarnya terdiri dari

- Panel daya dan distribusi listrik, merupakan suplai daya listrik dilengkapi dengan indikator tegangan, dan arus listrik serta pengaman beban.
- Panel pengoperasian berupa banyak tombol atau switch yang digunakan untuk mengoperasikan dan mengatur parameter operasi dan interlok.
- Panel monitor terdiri dari tampilan berbagai indikator/parameter operasi yang menginformasikan secara langsung kondisi operasi setiap sistem yang sedang bekerja.

Dari panel kendali ini petugas operator diperlukan kemampuannya untuk selalu dapat mengetahui secara cepat dan tepat bekerjanya masing masing komponen beserta perubahan-perubahan parameter operasi yang dihasilkannya, kemudian dapat melakukan tindakan pengoperasian yang diperlukan secara benar.

## II. 9. Sistem Keselamatan

Keselamatan manusia, kemudian alat dan barang yang diradiasi serta lingkungannya adalah merupakan pertimbangan utama dari setiap instalasi

iradiasi termasuk MBE. Beberapa bagian dari sistem keselamatan pada instalasi MBE antara lain :

- Penahan radiasi
- Sistem ventilasi
- Sistem interlok
- Monitor radiasi
- Tanda bahaya radiasi

MBE memancarkan berkas elektron hanya pada saat setelah tegangan tinggi dioperasikan (tidak ada bahaya radiasi pada saat tidak dioperasikan), dilengkapi dengan sistem interlok yang didasarkan pada beberapa parameter operasi yaitu antara lain :

- *Door Interlock Open*
- *Procces Area Emergency*
- *Accelerator Room Emergency*
- *No Turbomolecular Pump Cooling*
- *No Transformator Cooling*
- *No Oscilator Cooling*
- *No Window Air Flow*
- *No Scanning*
- *Over Current*
- *Over Voltage*
- *Poor Vacuum*
- *Conveyor Fault*

Prinsip kerja secara sederhana dari interlok MBE adalah : penyimpangan terhadap besaran batas parameter operasi menghidupkan rilai dan rilai ini menyalakan lampu indicator interlok yang terkait dan mematikan sistem tegangan tinggi

## DAFTAR PUSTAKA

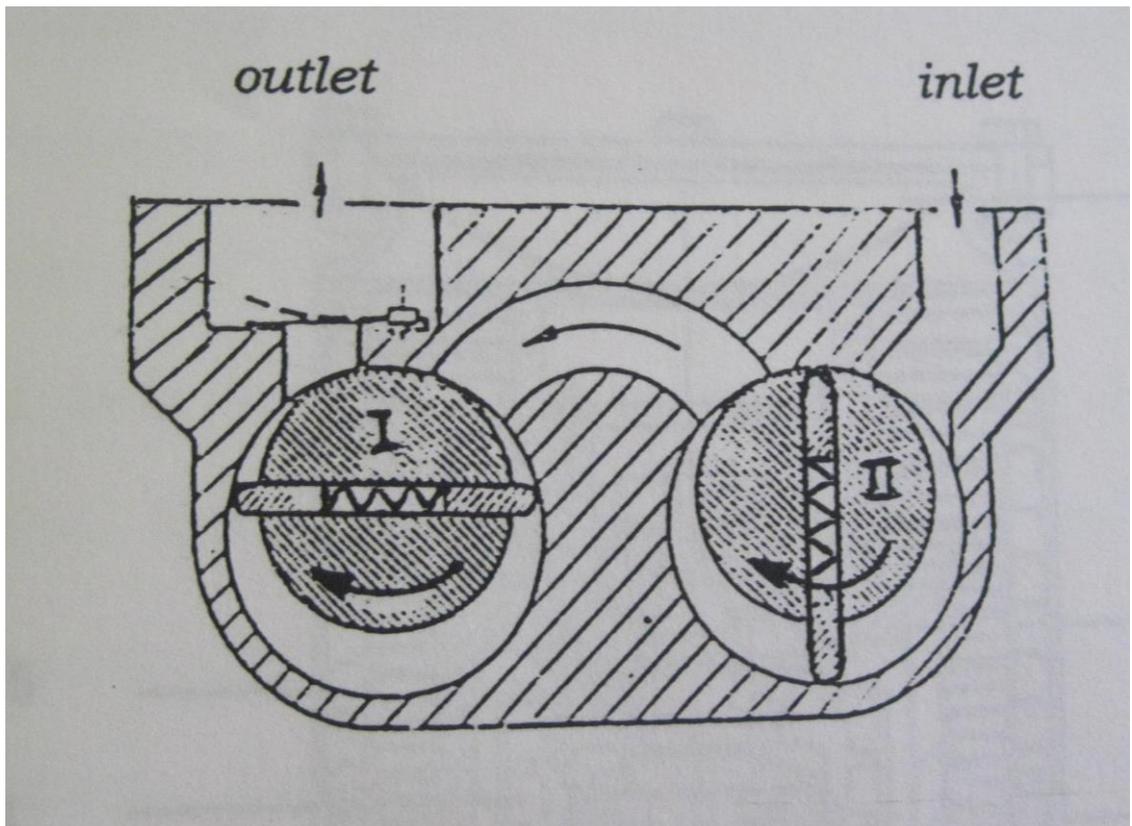
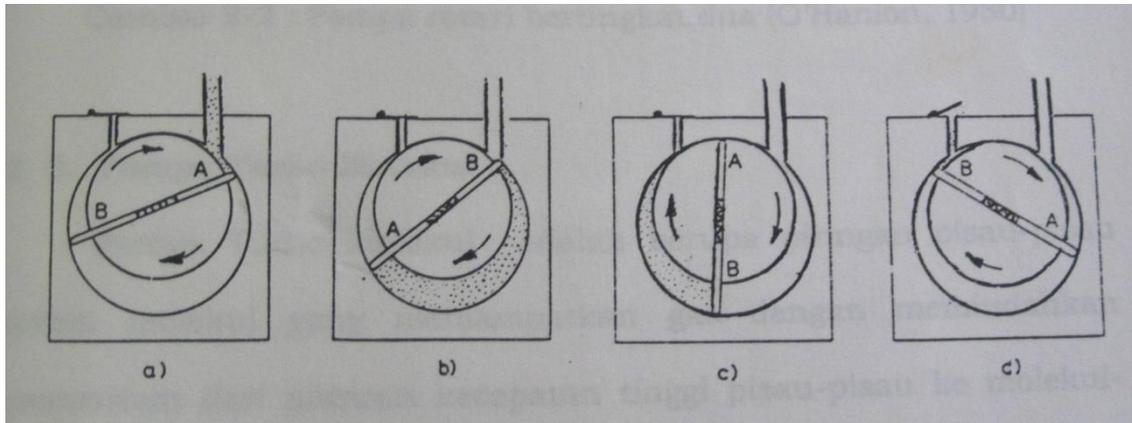
- Particle Accelerators, M. Stanley Livingston, Ph.D. and John P. Blewett, Ph.D, Mc Graw-Hill Book Company, New York 1962.
- Technical Document Elektron Beam Curing System 300 kV 50 mA, Nissin-High Voltage Co., LTD, March, 1984.
- Technical Document 1-5 *Accelerator Model GJ- 2*, Shanghai Xian-Feng Electric Manufacturing Work, Shanghai-China, 1992.

## Lampiran 1

Tabel 1 : Proses pelipatan tegangan pada generator Cockroft-Walton sampai dengan tingkat ke 4

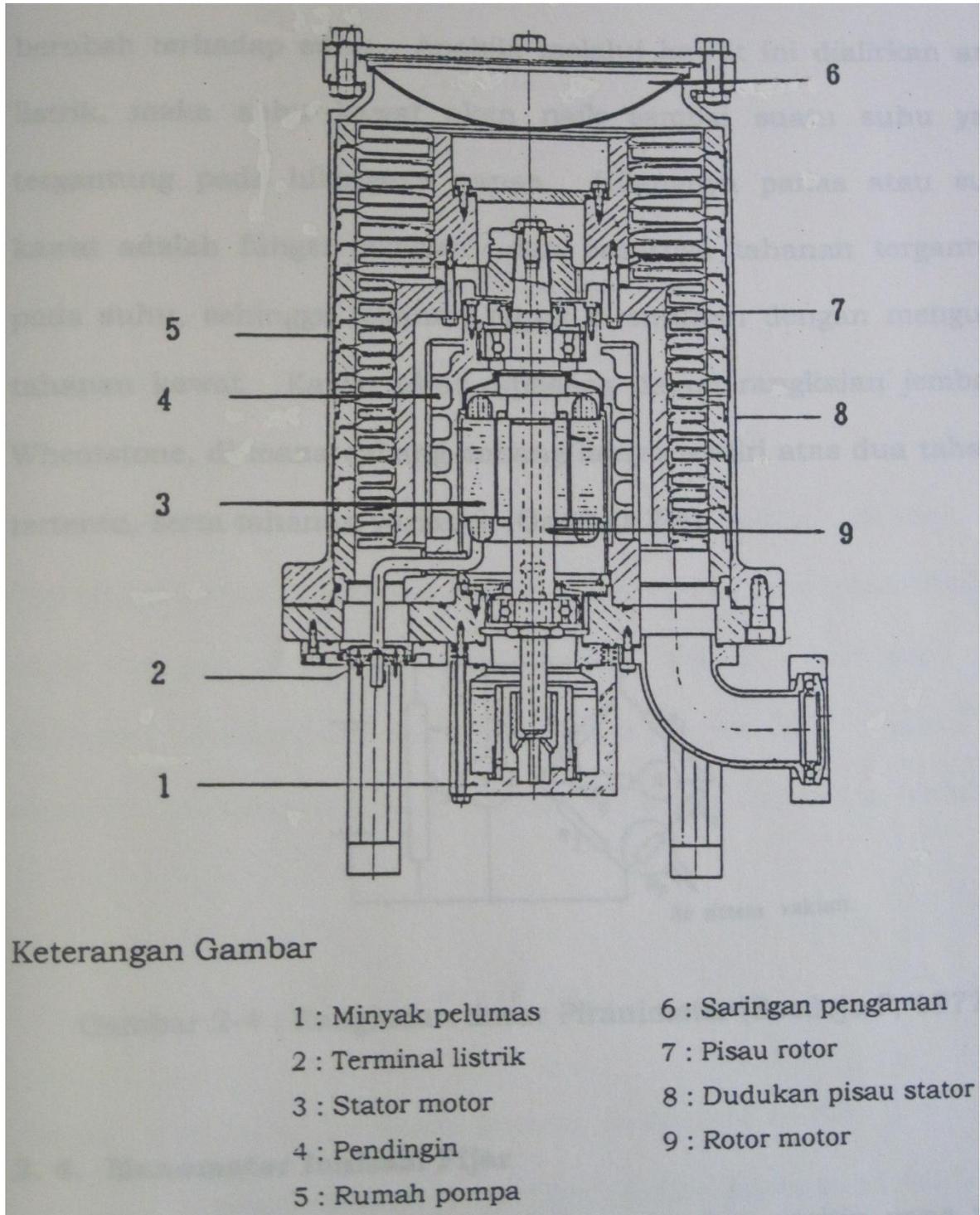
Fase ke (tiap ¼ siklus)	Teg. G1	Teg. A1	Teg. A2	Teg. A3	Teg. A4
0	0	0	0	0	0
1	E	E	E	E	E
2	0	0	E	E	E
3	-E	0	E	E	E
4	0	E	E	2E	2E
5	E	2E	2E	3E	3E
6	0	E	2E	2E	3E
7	-E	0	2E	2E	3E
8	0	E	2E	3E	3E
9	E	2E	2E	4E	4E
10	0	E	2E	3E	4E
11	-E	0	2E	2E	4E
12	0	E	2E	3E	4E
13	E	2E	2E	4E	4E

Lampiran 2



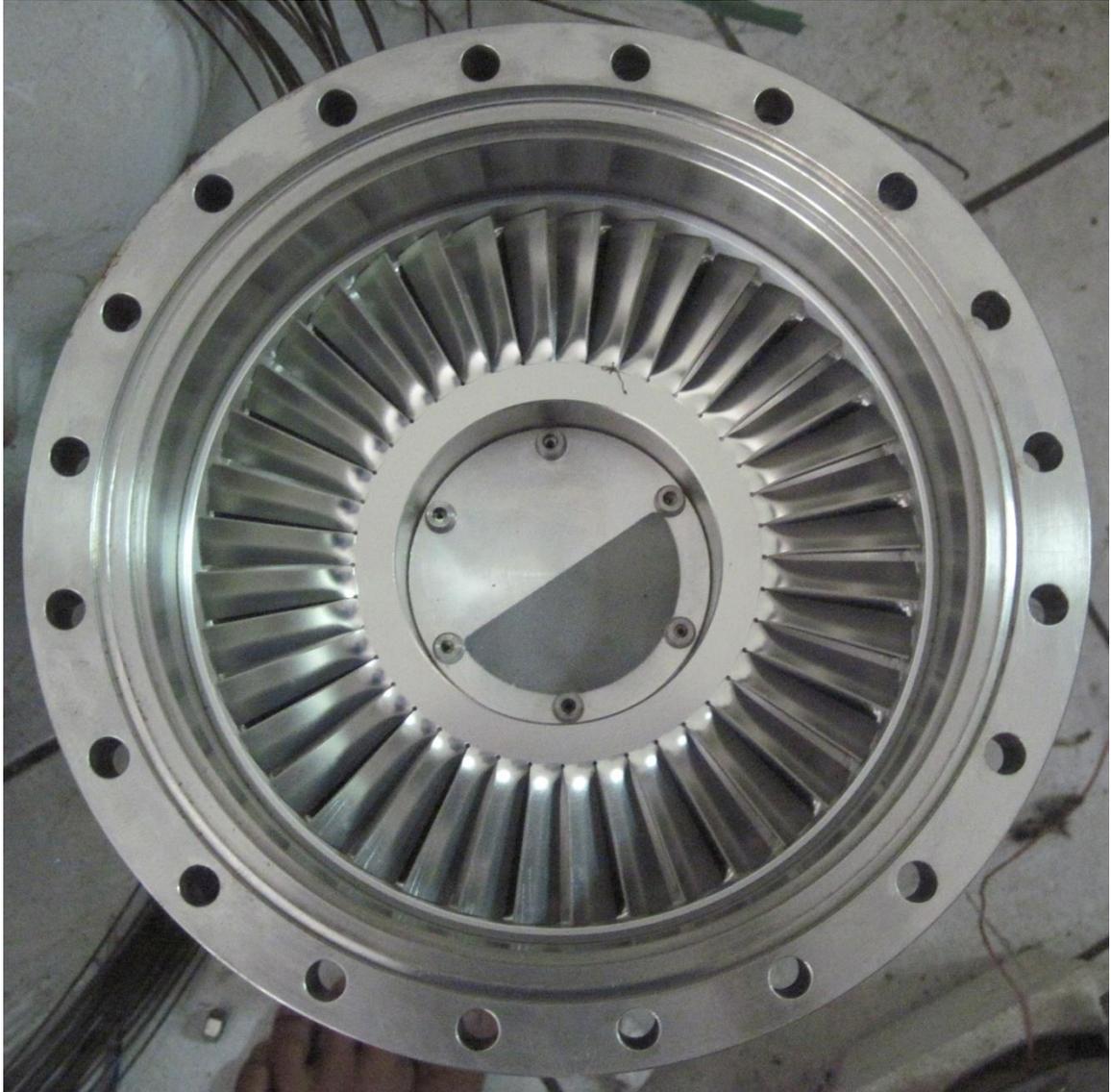
Gambar : Prinsip kerja pompa rotary

## Lampiran 3



Gambar : Skema pompa turbo molekul

Lampiran 4

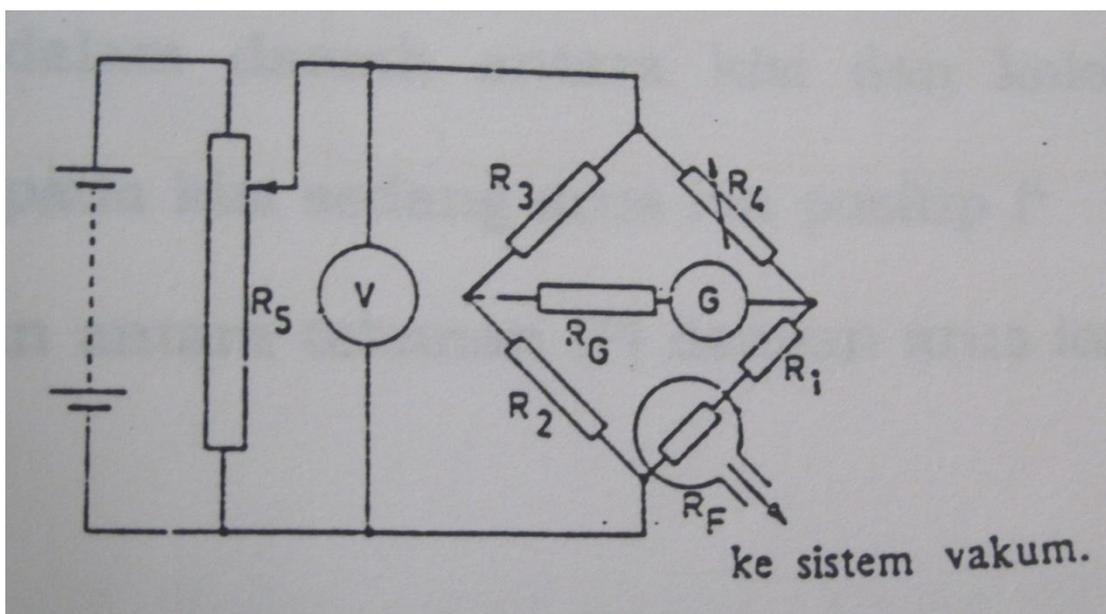


Gambar : Sirip-sirip pompa turbo molekul

Lampiran 5

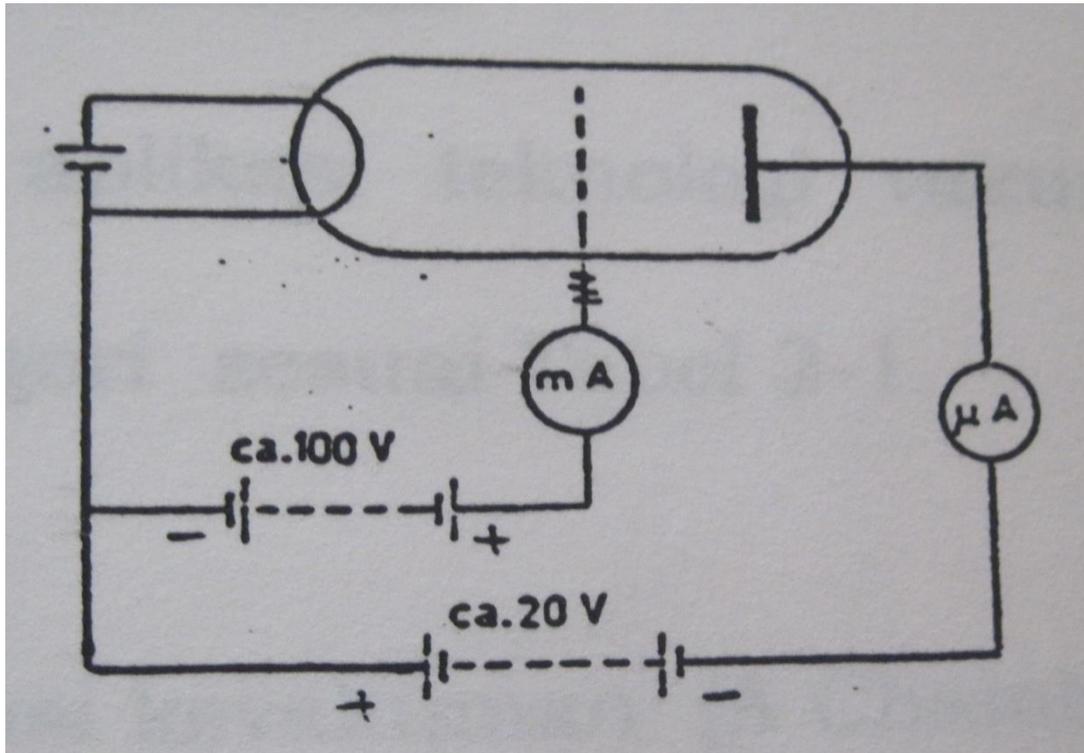


Gambar : Pompa rotary dan pompa turbomolekul

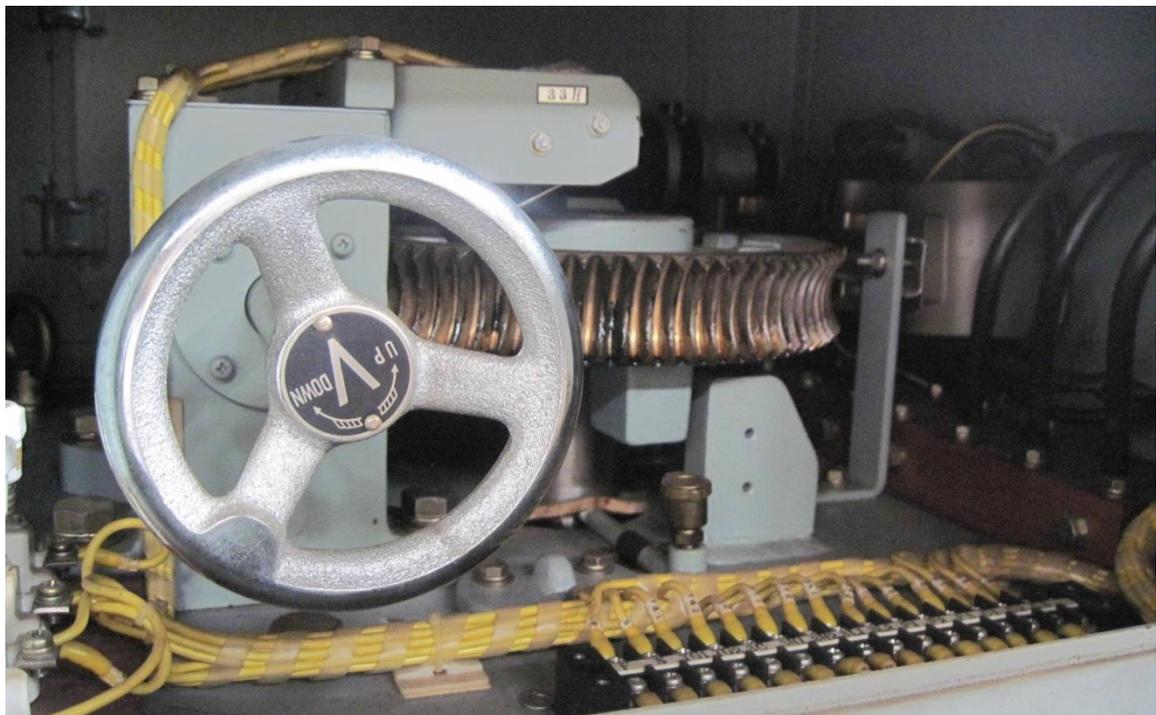


Gambar : Rangkaian dasar piranimeter

Lampiran 6

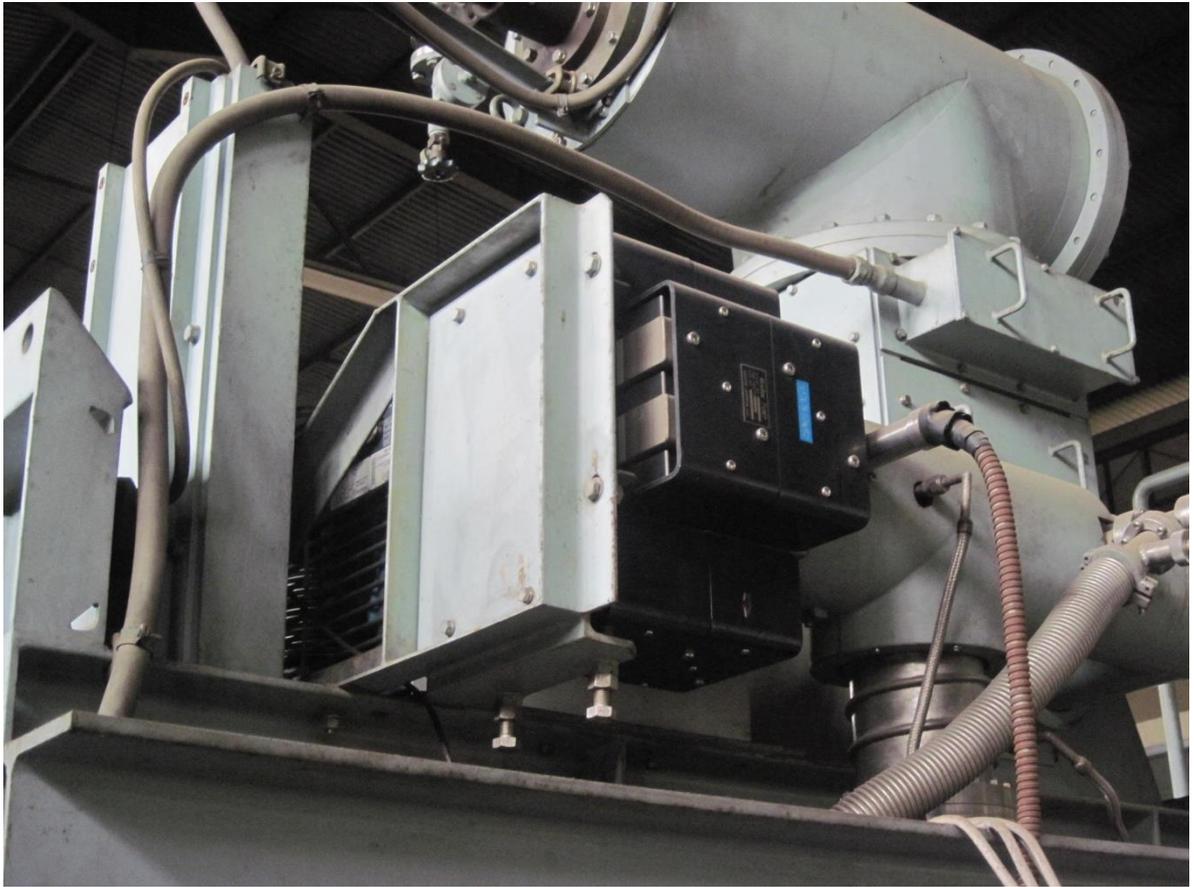


Gambar :Rangkaian dasar manometer ionisasi



Gambar : Induction voltage regulator (EPS-300)

Lampiran 7



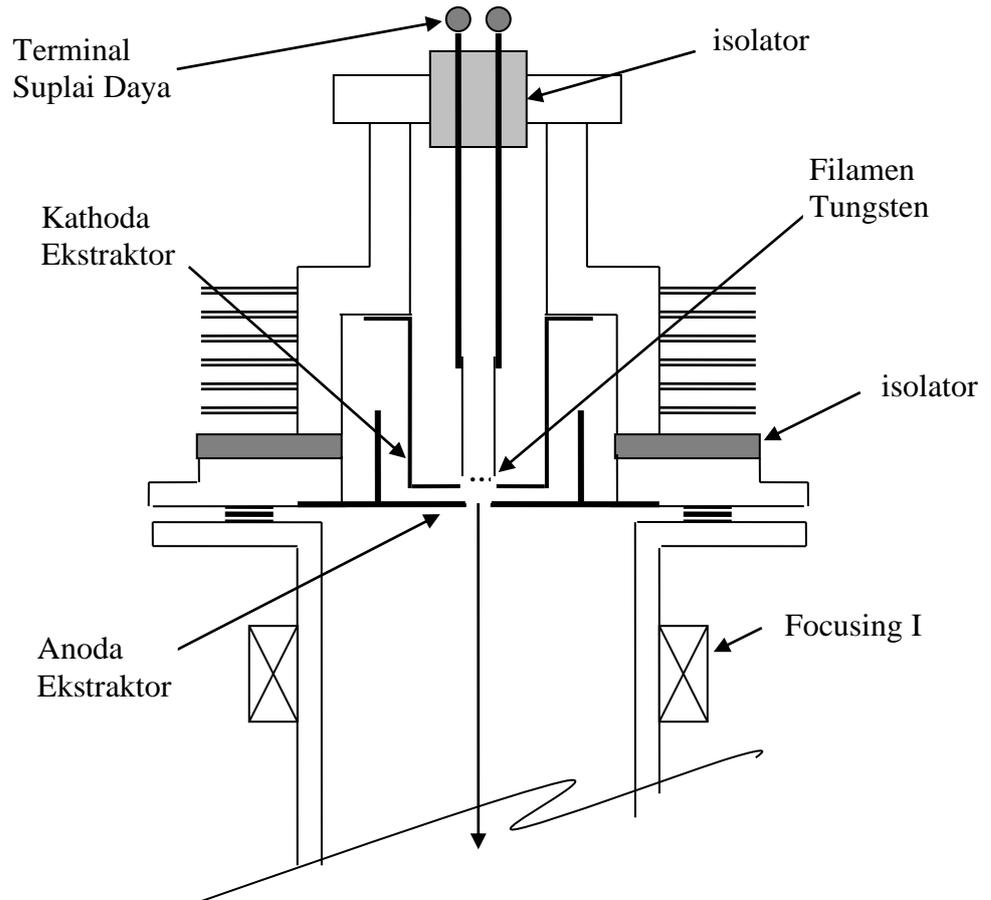
Gambar : Pompa ion dan tangki pemercepat (EPS-300)

Lampiran 8



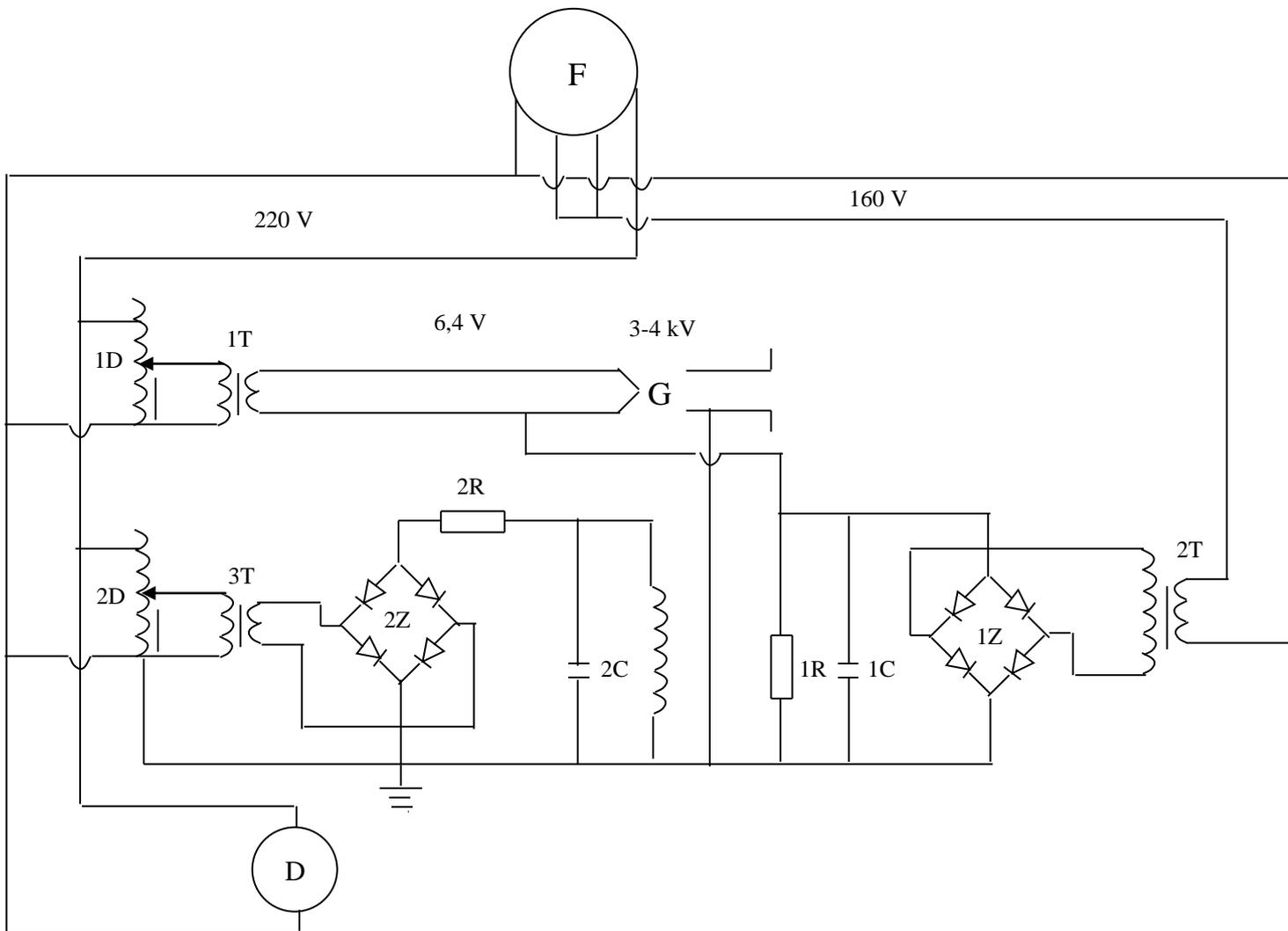
Gambar : DCPS (EPS-300)

Lampiran 9



Gambar : Elektron Gun (MBE GJ-2)

## Lampiran 10



Keterangan :

F : 50 HZ, 220V/165 V

2C : 470  $\mu$ F/50 V1C : 0,047  $\mu$ F/5 kV2R : 4,3  $\Omega$ 1R (5) : 2,2 M $\Omega$ 

2Z (4) : 2CZ32D

1Z (16): 2CZ34L

3T : 220 V/17,5 V

2T : 220 V/3000 V

1T : 220 V/6,4 V

2D : TDGCZ-0,2

1D : TDGCZ-0,2

Gambar : Suplai Daya Sumber Elektron (MBE GJ-2)

## Lampiran 11

Contoh :

Beberapa komponen dari Electron Beam Processing System EPS:

1. DCHVPS
  2. Connection Tank
  3. Accelerator System
  4. Vacuum System
  5. Control System
  6. Material Handling System
  7. X-ray shielding
- DC HVPS
    - Input 3 phase 400 V(ac)
    - HFPS 1 kHz
    - Cockroft Walton HVPS
    - Isian gas SF<sub>6</sub>, tekanan 0,16 MPa
  - Connection Tank
    - Terminal HV
    - Isian gas SF<sub>6</sub>, tekanan 0,16 MPa
  - Accelerator System
    - Sumber electron, filamen
    - Tabung pemercepat
    - Divider resistor
    - Mesuring resistor
  - Vacuum System
    - Turbomolecular Pump
    - Rotary pump
    - Vacuum gauge (high & low)
    - Valve-valve penghubung