

PERAWATAN FASILITAS IRADIATOR (Akselerator)

Ihwanul Aziz

Pelatihan Penyegaran Petugas Iradiator

Direktorat Pengembangan Kompetensi BRIN - 2025

Biodata

- Nama: Ihwanul Aziz S.T., M.Sc.
- Unit Kerja: Pusat Riset Teknologi Akselerator ORTN BRIN
- Riwayat Pendidikan:
 - D3 Teknik Mesin, UNY
 - S1 Teknik Mesin, STTNAS
 - S2 Fisika, UGM
- Bidang Riset: *Vacuum Technology, Surface Coating and Technology*
- H-index scopus: 5 (ID: 57194056983)
- Email: ihwa002@brin.go.id
- Pengalaman Riset:
 - Rancangbangun Sistem Vakum Siklotron DECY-13 (2011 - 2013)
 - Rancangbangun Sistem Vakum dan Mekanik Sumber Elektron Katoda Plasma (2014 - 2018)
 - Pengembangan Biomaterial Implant Tulang Berbasis Logam TI-6Al-4V dan SS 316L (2019 - 2021)
 - Pengembangan Sumber Ion Penning Berbasis Metal Hydride Siklotron (2022 - Sekarang)



Peserta Pelatihan

No	Nama	Instansi	Kategori SIB
1	Dimas Haadii Wibowo	PT Sumi Rubber Indonesia	
2	Jefri Suswanto	PT Sumi Rubber Indonesia	
3	Aldy Erlangga Prasetya	PT Nipro Indonesia Jaya	Operator dan Petugas Dosimetri
4	Fahmi Eka Cahyadi	PT Nipro Indonesia Jaya	Operator dan Petugas Perawatan
5	Andi Susanto	PT Energi Sterilia Higiene	Petugas Perawatan
6	M. Rafli Rasyidi	PT Energi Sterilia Higiene	Operator
7	M. Yunus	PT Energi Sterilia Higiene	Petugas Dosimeter
8	Dea Nabilah Idraki	PT Energi Sterilia Higiene	Operator
9	Helda Dwiya Lestari	PT Energi Sterilia Higiene	Petugas Dosimeter
10	Seling Nur Praduwana	PT Energi Sterilia Higiene	Petugas Dosimeter

Jadwal Pelatihan

Waktu	Hari ke-5
	12 Sep 25
07.45 ~ 08.30	Manajemen Perawatan Iradiator Saefurrochman
08.30 ~ 09.15	sda
09.15 ~ 09.30	
09.30 ~ 10.15	Perawatan Fasilitas Iradiator Ihwanul Aziz
10.15 ~ 11.00	sda
11.00 ~ 11.45	
11.45 ~ 12.45	
12.45 ~ 13.30	sda

Perawatan komponen iradiator berbasis mesin	Mesin berkas elektron
	Sumber elektron
	Sistem pemercepat
	Tabung pemercepat
	Rangkuman
	Evaluasi

1

PENDAHULUAN

TUJUAN PEMBELAJARAN

Hasil Belajar: peserta mampu menjelaskan perawatan komponen irradiator elektron

- **Indikator Hasil Belajar:**
 - mampu menjelaskan komponen irradiator berbasis akselerator.
 - mampu menjelaskan irradiator elektron.
 - mampu menjelaskan cara merawat komponen irradiator elektron.

POKOK BAHASAN

1. Iradiator berbasis akselerator

2. Perawatan Sumber Elektron

3. Perawatan Sistem Pemercepat

4. Perawatan Sistem Vakum

5. Perawatan Sistem Optik/Pemayar

2

IRADIATOR BERBASIS AKSELERATOR

What is Particle Accelerator?



Pernah rontgen/sinar-x ?



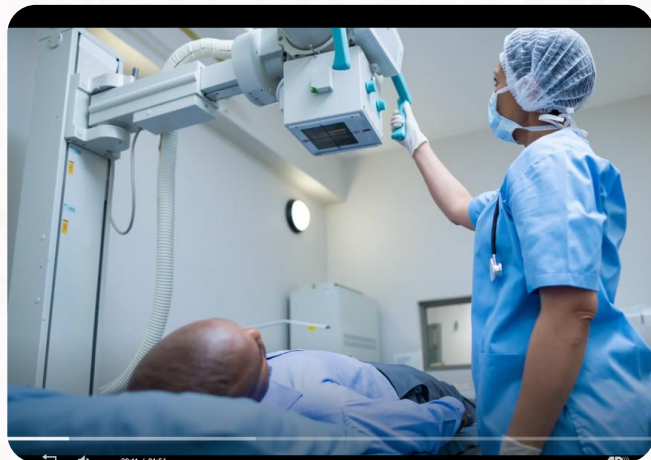
Mesin Pembangkit x-ray
(contoh)



**Akselerator
Partikel**



Pemercepat partikel bermuatan
(elektron, proton, atau ion)

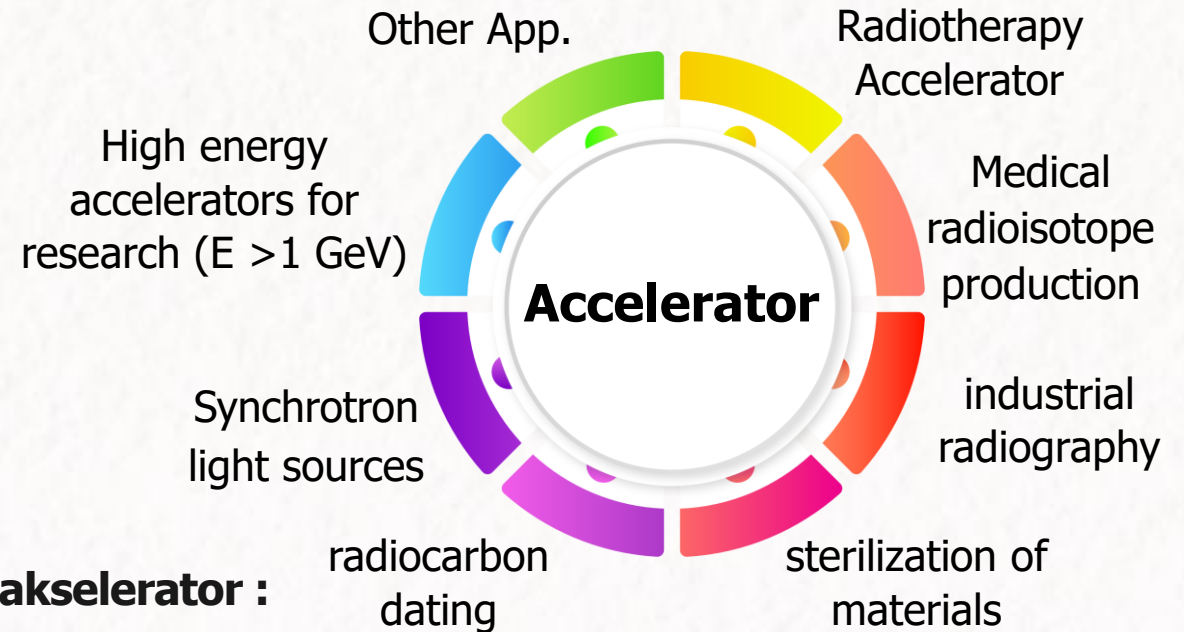


Mesin Pembangkit x-ray

5 prinsip yang harus ada di akselerator :

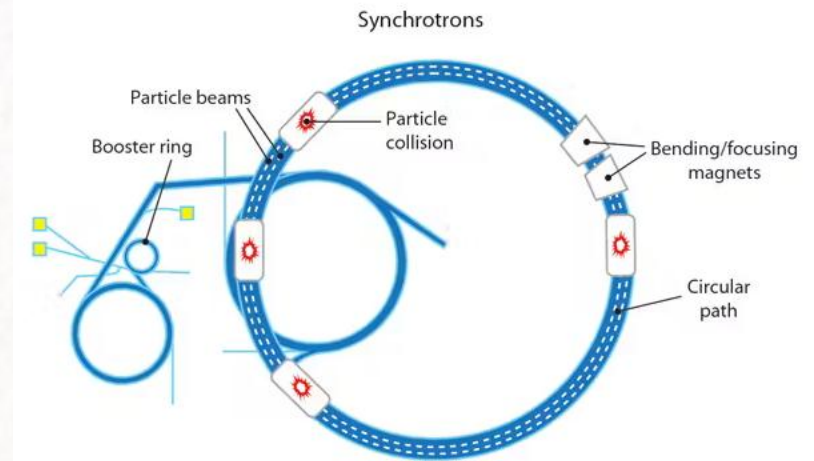
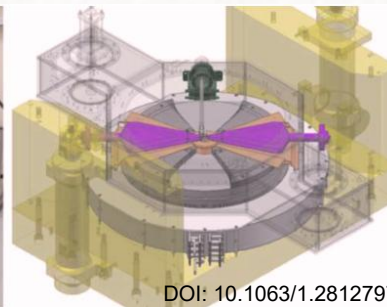
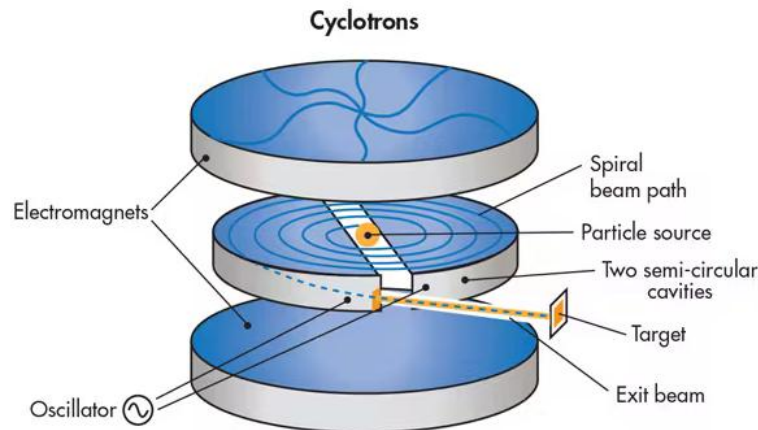
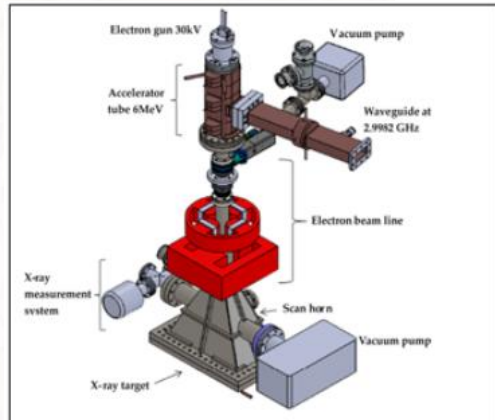
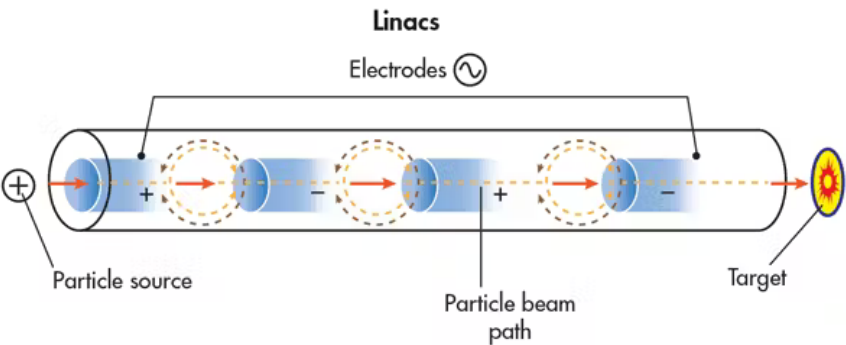
1. Generating
2. Accelerating
3. Guiding
4. Colliding
5. Detecting

Tiap jenis akselerator punya spesifikasi mesin dan peruntukan yang khusus



Akselerator adalah perangkat/mesin untuk mempercepat partikel bermuatan

Jenis Akselerator



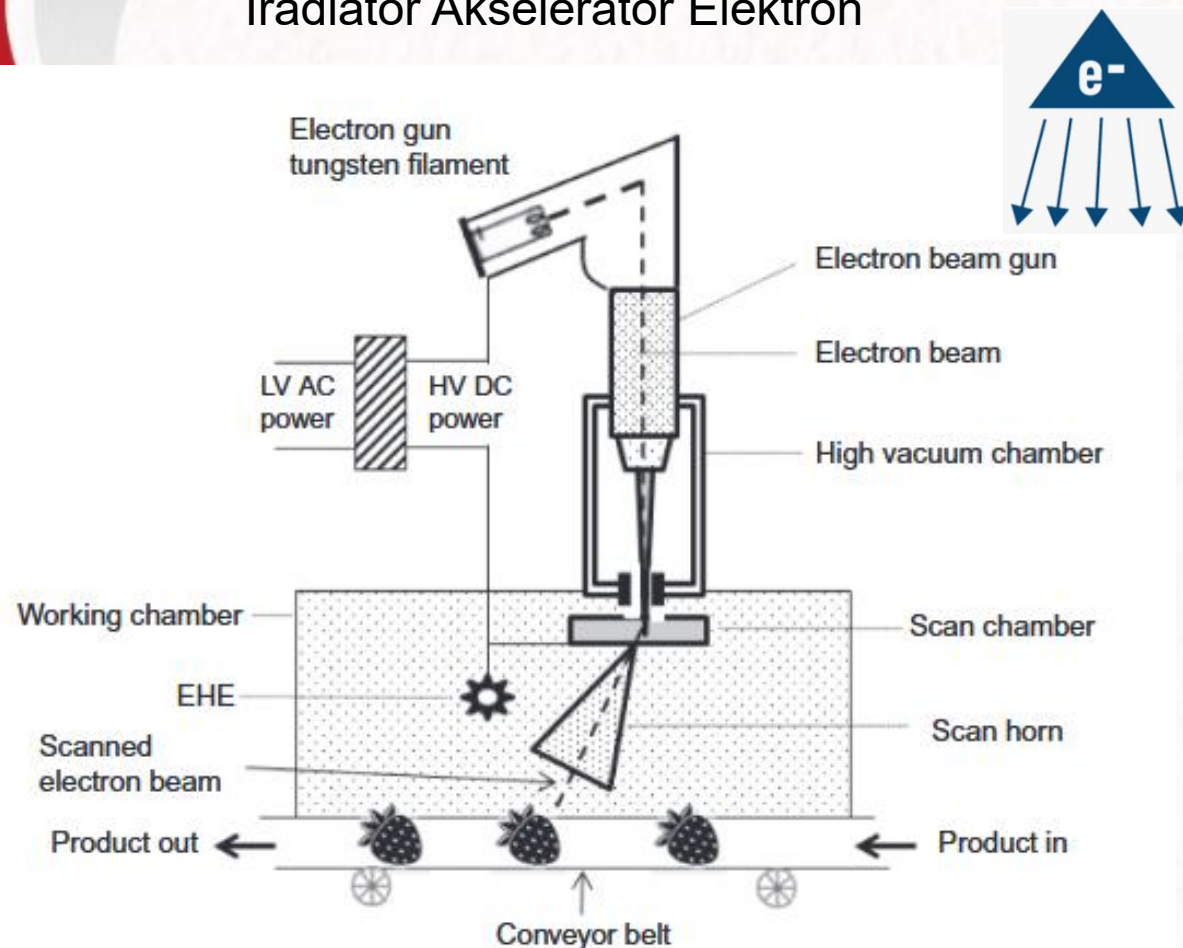
Synchrotron Light Research Institute (SLRI)



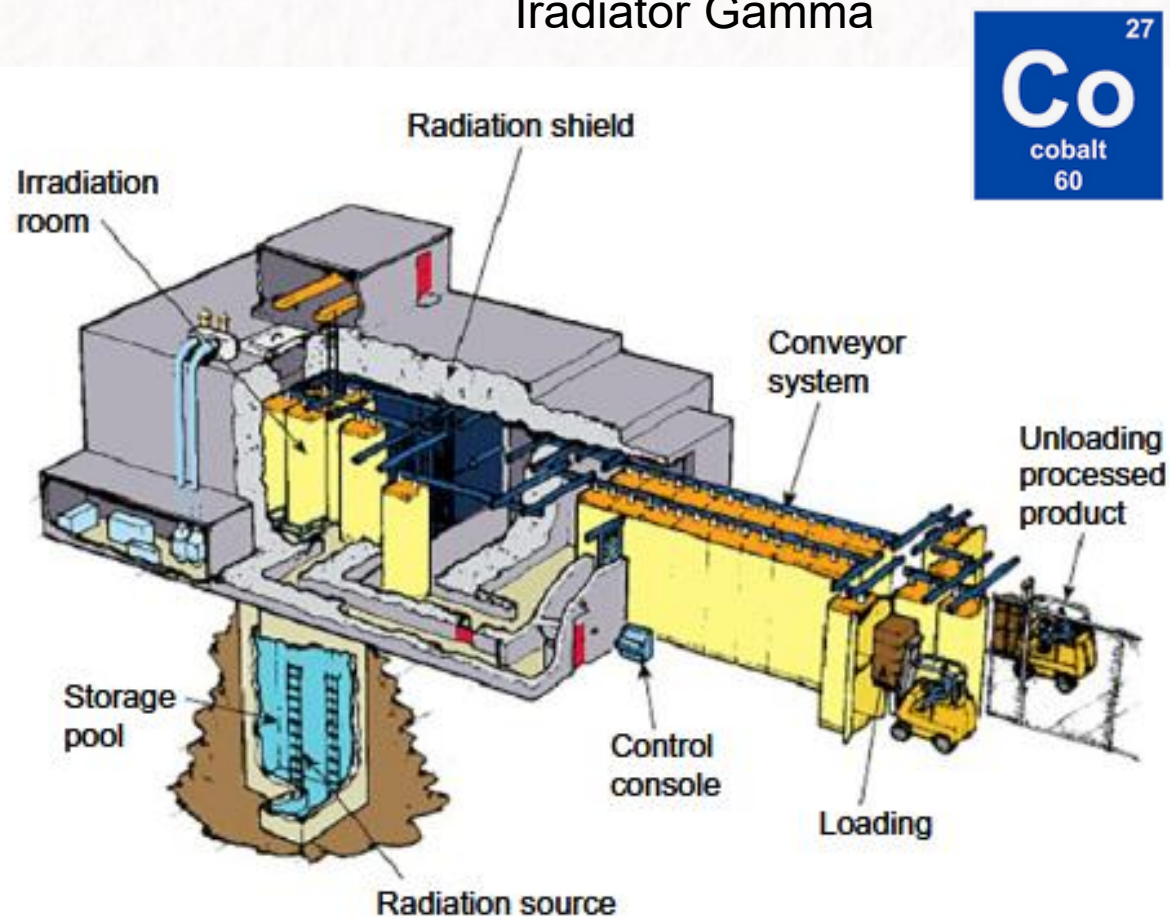
Reference:

<https://www.machinedesign.com/learning-resources/whats-the-difference-between/article/21832184/what-are-the-differences-between-linear-accelerators-cyclotrons-and-synchrotrons>
<https://www.medicalradiationinfo.org/radiationandmedicine/radiation-therapy/medical-linear-accelerators-linacs/>
<https://doi.org/10.3390/app11052384>

Iradiator Akselerator Elektron

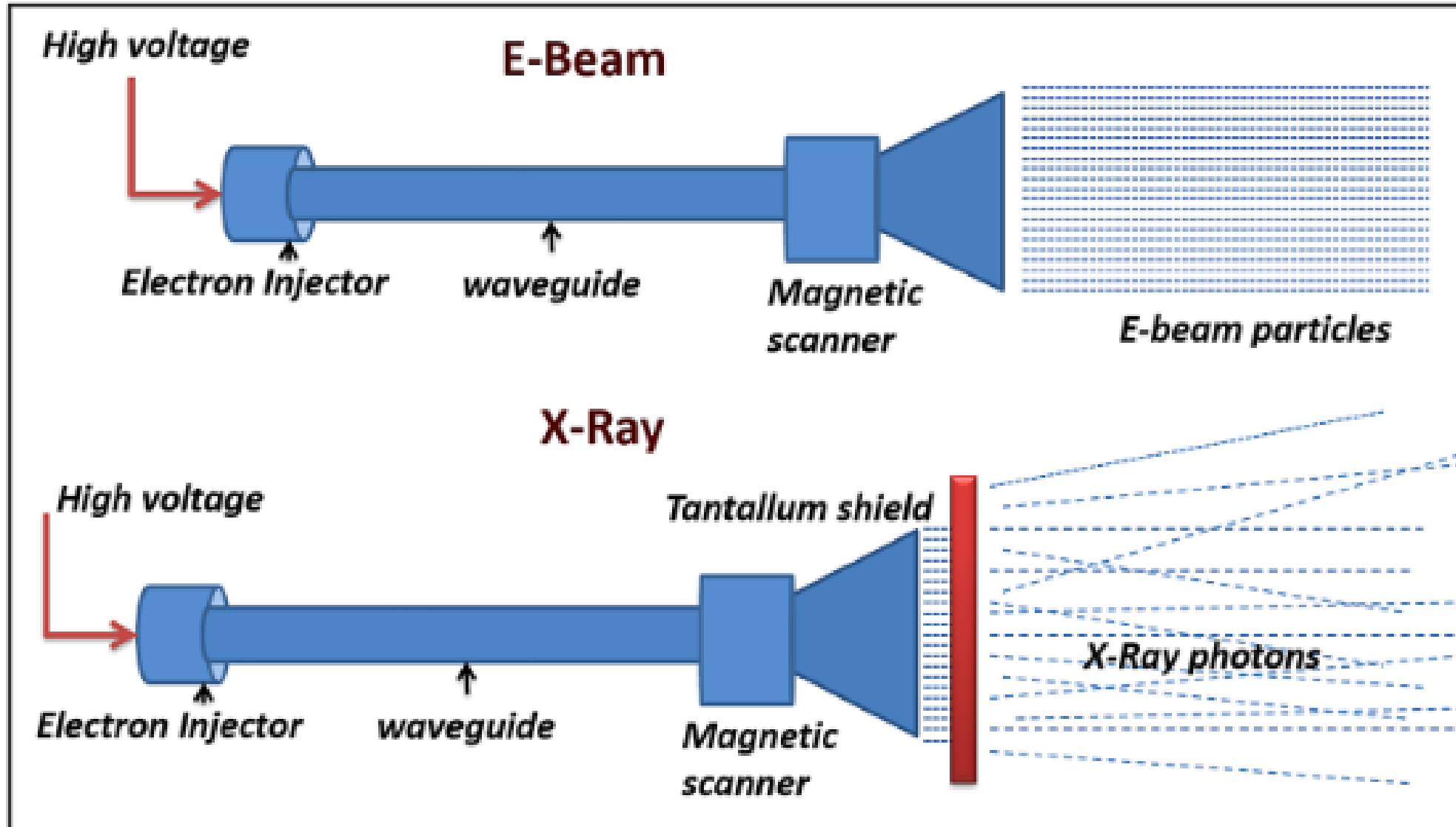


Iradiator Gamma



Reference:
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812698-1.00006-6>

E-Beam Convert To X-Ray



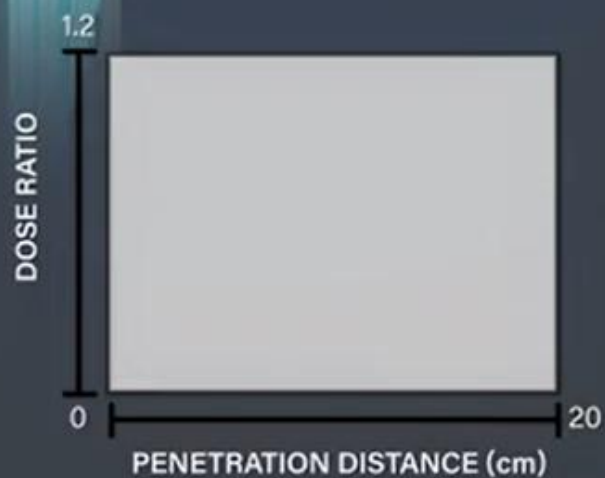
GAMMA RAYS



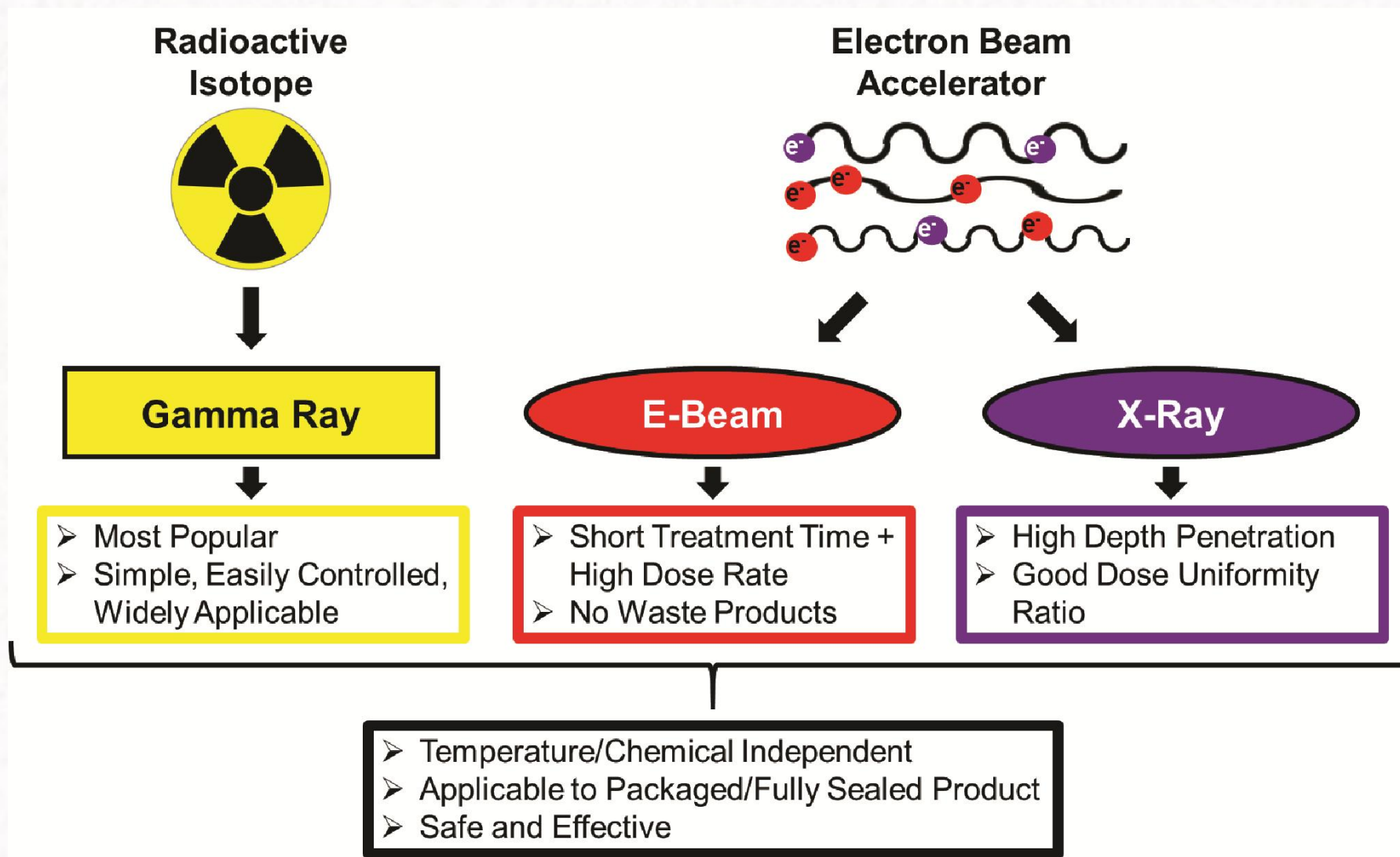
oliverhcp.com is now full screen

Exit Full Screen (Esc)





X-RAYS



E-Beam VS Gamma



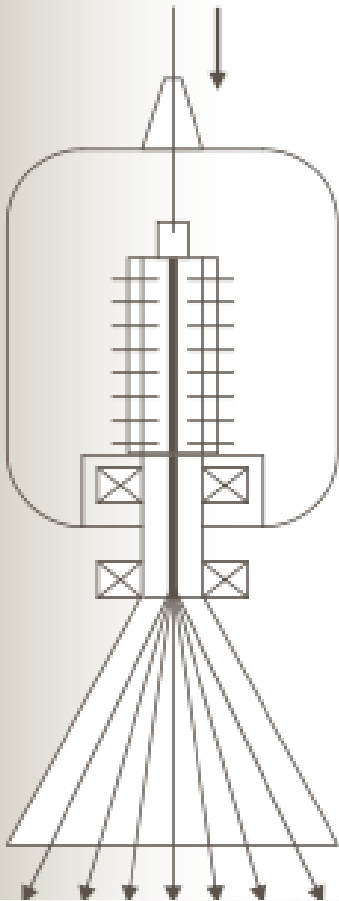
E-Beam VS Gamma

	Gamma	E-Beam
Sterilization Source	 radioactive material	 grid electricity
Technology Maturity	High	High
Process quantity	Boxes	Boxes
Processing time	Hours	Seconds
Sustainability & Environmental impact	Synthetic radioisotopes are required for process	As clean as the electricity used to power the system
Benefits	<ul style="list-style-type: none"> • Good penetration / tight Dose Uniformity Ratio (DUR) performance • Almost no power required. 	<ul style="list-style-type: none"> • Extremely efficient: sustainably process most volume / year • Best \$ / capacity available
Limitations	<ul style="list-style-type: none"> • Limited supply of Co-60 radioisotopes • New geopolitical sensitivity in wake of UKR war, China stance 	<ul style="list-style-type: none"> • Products requiring tight DURs are challenging • Large / dense products can be challenging
Outlook	 No growth: isotope supply issues & geopolitical risk	 Growth: efficient, sustainable technology

Reference:
<https://nextbeam.com/irradiation-illuminated/e-beam-vs-gamma-sterilization-which-is-right-for-you/>

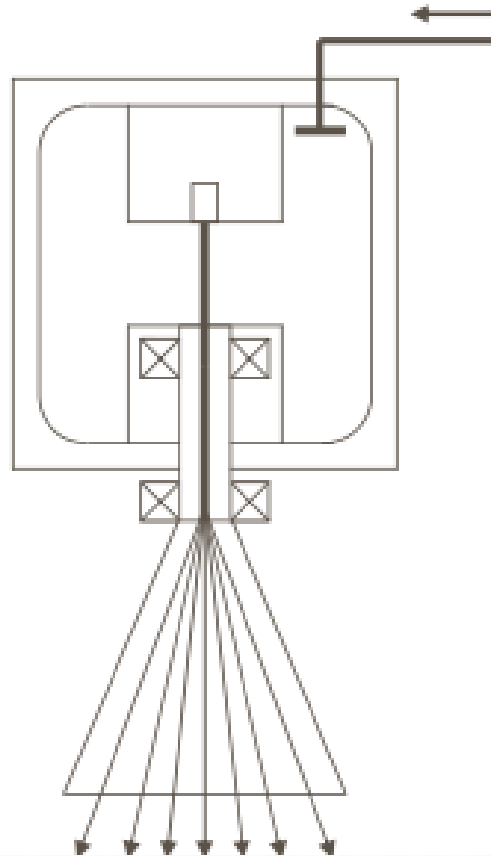
Direct accelerator

HV cable from
DC power



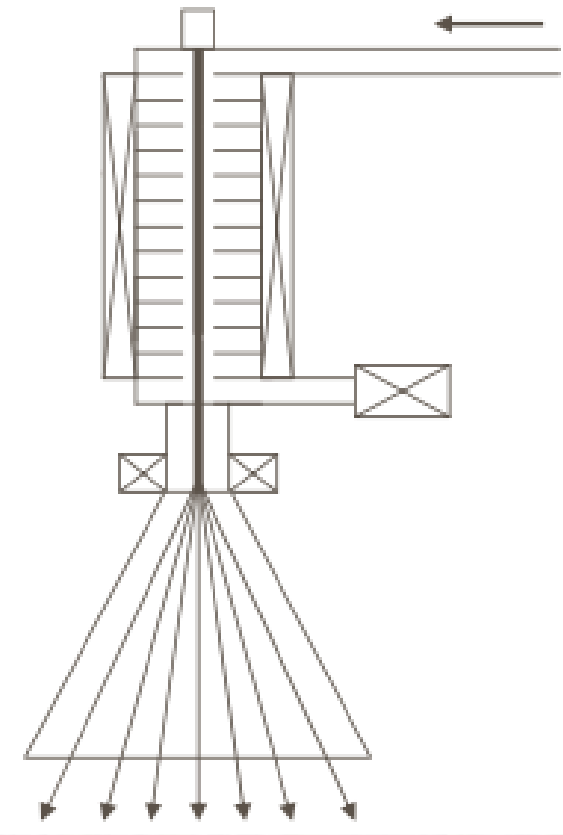
Single cavity

Coaxial cable from
RF generator



Linear accelerator

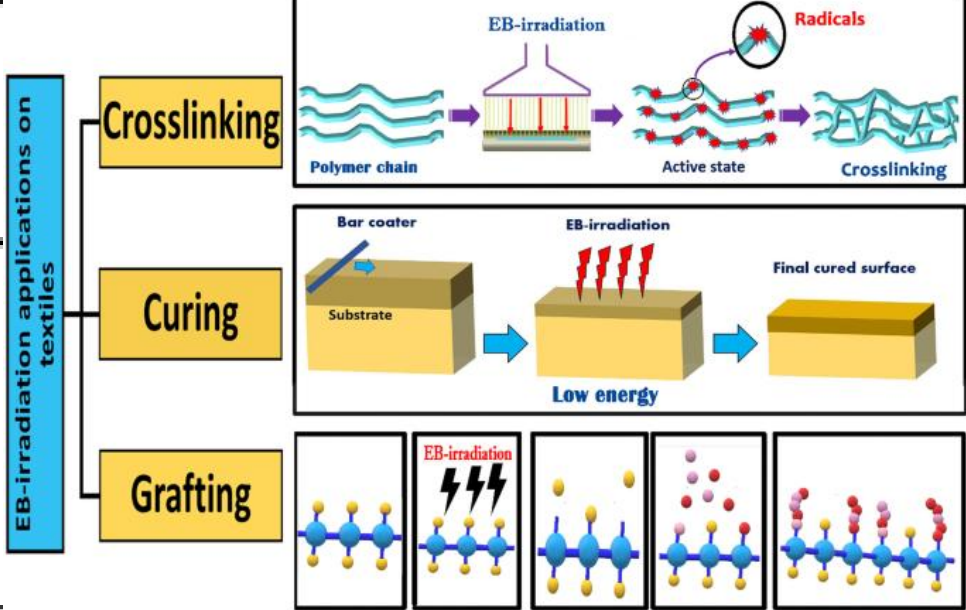
Waveguide from
source of microwaves



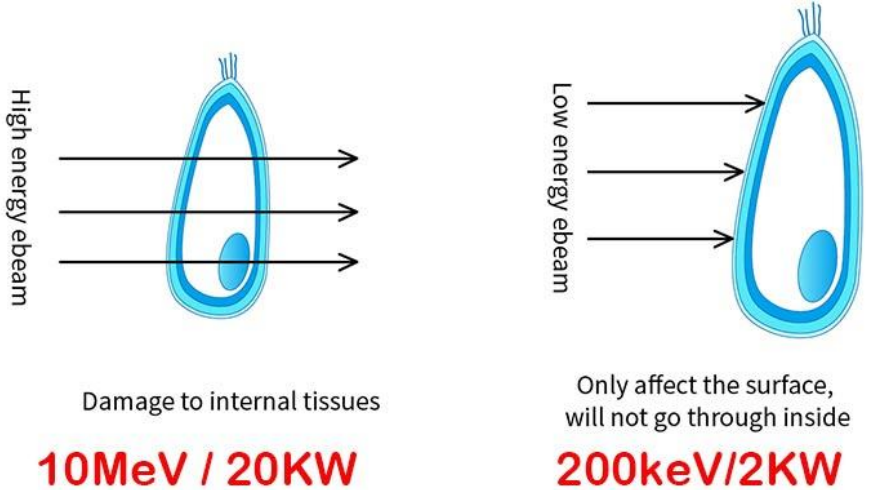
Reference:
Regional Training Course on Validation and Process Control for Electron
Beam Radiation Processing (Zbigniew ZIMEK, Sylwester BUŁKA, INCT,
Warsaw, POLAND.

Irradiator Elektron

Application	Electron Energy	Typical penetration (mm) for unit density product
Surface curing	(80 ~ 300) keV	0.4
Shrink film	(300 ~ 800) keV	2
Wire & cable	(0.4 ~ 3) MeV	5
Sterilization	(3 ~ 10) MeV	38



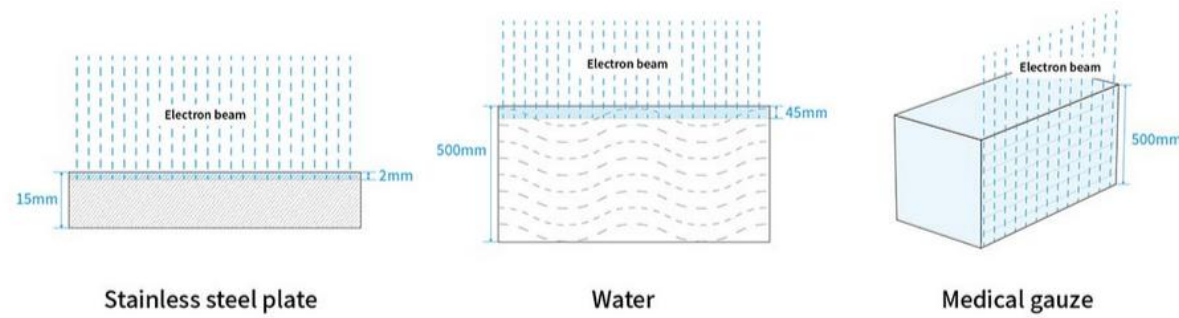
Ultra low energy irradiation
VS
High energy irradiation



Reference:
<https://doi.org/10.1007/s10965-022-02952-4>
<https://ebeammachine.com/electron-beam-sterilizer-2/>
<https://doi.org/10.1007/s10965-022-02952-4>

High Energy Irradiator Elektron

Penetration comparison @ 10MeV/20KW



Linac configurations

	X-ray Phytosanitary Treatment of Food	X-ray Sterilization of Medical Devices	E-beam Sterilization of Thin Product Packaging	E-beam Sterilization of Medical Devices	E-beam Coloration of Gemstones	E-beam Production of Radioisotopes
Energy Range	5 and 7 MeV	7.5 MeV	4 – 6 MeV	10 – 11 MeV	20 MeV	30 – 45 MeV
Power Range	Up to 75 kW (10.7 mA)	Up to 75 kW (10 mA)	Up to 65 kW (10.8 mA)	Up to 70kW (6.4 mA)	Up to 65 kW (3.2 mA)	Up to 125 kW (2.8 mA)

$$R = \frac{0.0276 A E_0^n}{(Z^{0.89} \rho)} \quad \mu\text{m}$$

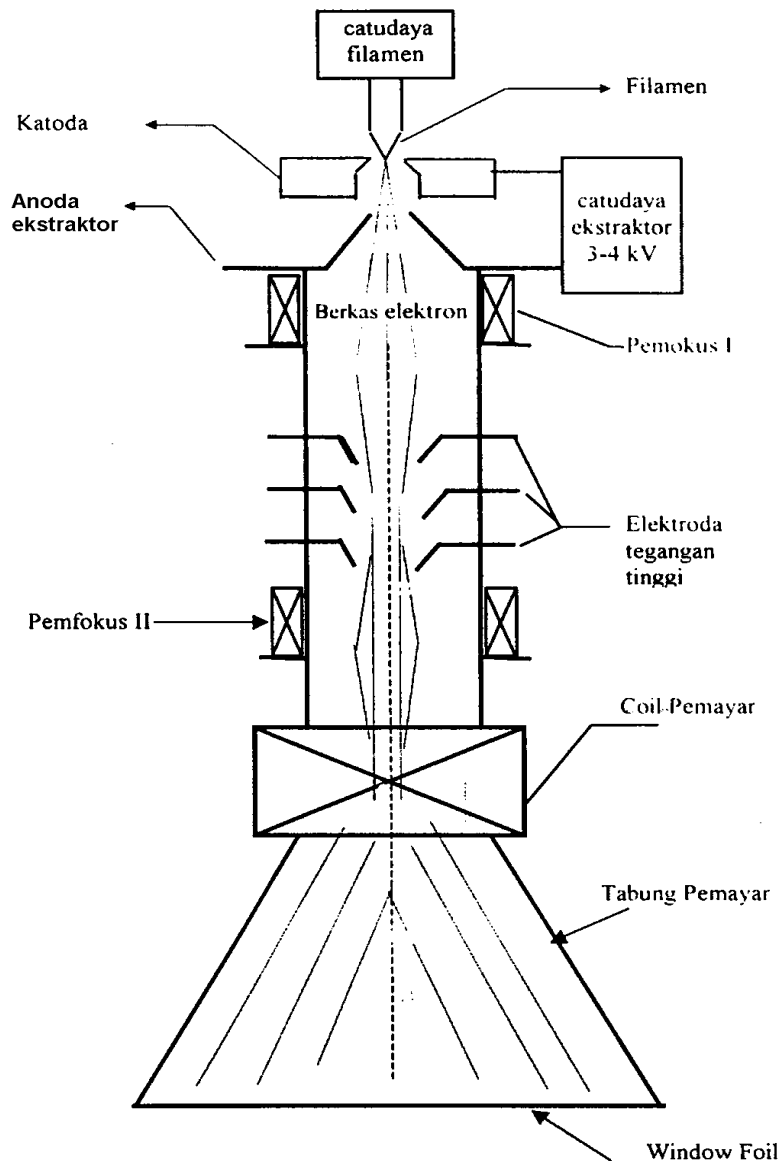
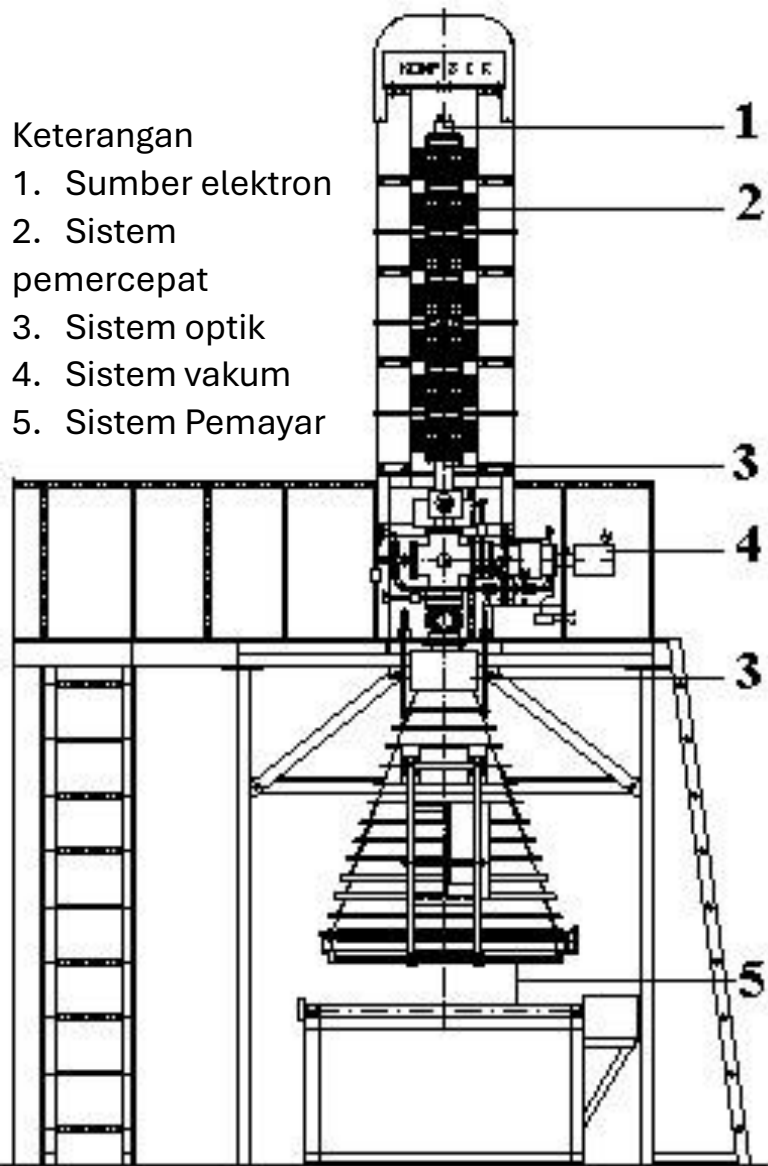
R -- Depth Penetration
 A -- Atomic Weight (g/mole)
 n -- A constant
 E₀ -- Beam Energy (KV)
 Z -- Atomic number
 ρ -- Density (g/cm)²

Energy	<200keV	300keV	1MeV	10MeV
Penetration	< 200um	<500um	<10mm	45mm ~ 500mm
Sterilization	Surface	Surface	Surface	Penetrated
Product shape	Flat surface	Flat surface	Flat surface	Irregular shapes

Reference:
<https://doi.org/10.1007/s10965-022-02952-4>
<https://ebeammachine.com/electron-beam-sterilizer-2/>
<https://www.globalsino.com/EM/page4795.html>

Iradiator Elektron PSTA

- Keterangan
1. Sumber elektron
 2. Sistem pemercepat
 3. Sistem optik
 4. Sistem vakum
 5. Sistem Pemayar



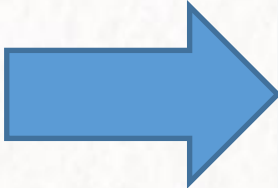
ARJUNA 1 dan ARJUNA 2



Iradiator Elektron PSTA



ARJUNA 1 dan ARJUNA 2



Partikel yang dipercepat : Elektron
Energi berkas elektron : 350 keV
Arus berkas elektron : 10 mA
Ukuran berkas elektron : 1200 x 60 mm
Daya listrik : 75 kVA

Profile MBE PSTA:

https://www.youtube.com/watch?v=JpU_q0UBGHg

Komponen MBE PSTA:

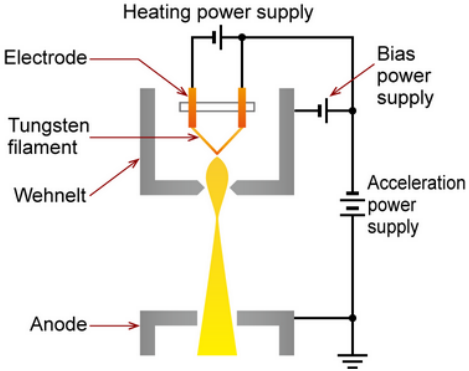
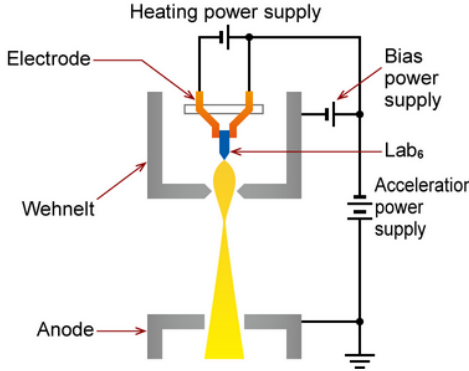
<https://www.youtube.com/watch?v=JSe74aeaK9U>

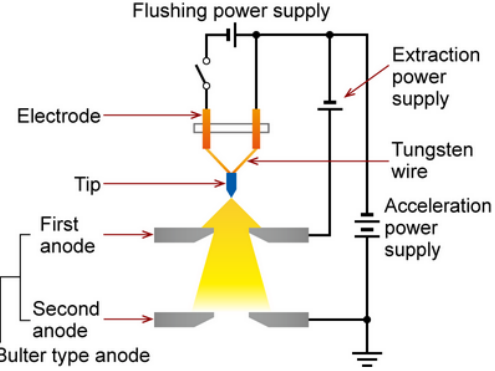
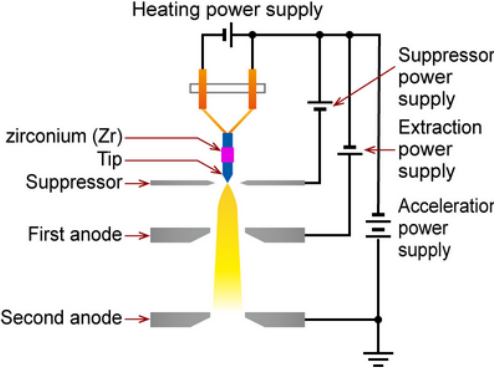
Game Wayground 1

3

PERAWATAN SUMBER ELEKTRON

Sumber Elektron Termionik

The tungsten-type thermionic emission gun	Lanthanum hexaboride (LaB ₆) thermionic emission gun
	
<p>Emitter material: Tungsten wire Luminance: $10^4 - 10^5$ (A / cm² / sr) Vacuum: 10^{-3} (Pa) Applications: benchtop SEM to general-purpose SEM</p>	<p>Emitter material: LaB₆ Luminance: 10^6 (A / cm² / sr) Vacuum: 10^{-5} (Pa) Applications: General-purpose SEM</p>

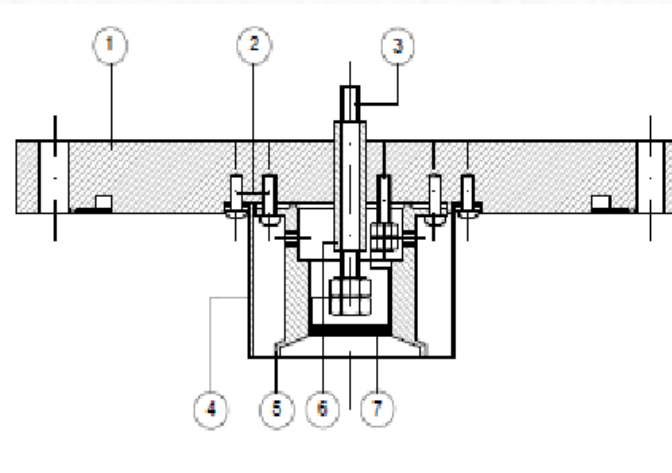
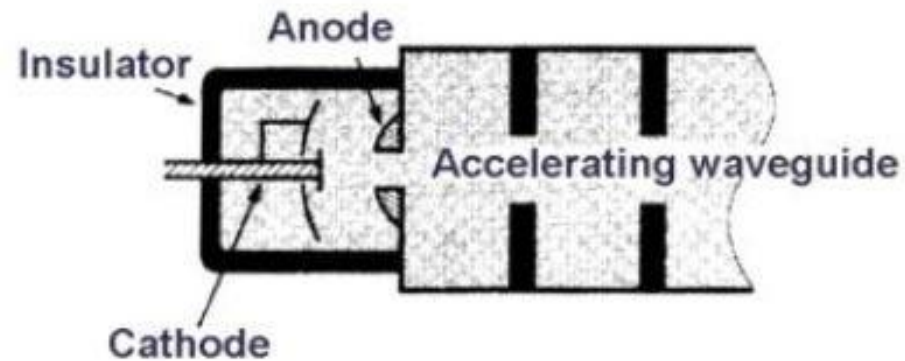
Cold Field Emission Gun (Cold FEG)	Schottky Field Emission Gun (Schottky FEG)
	
<p>Emitter material: Tungsten single crystal Luminance: 10^9 (A / cm² / sr) Vacuum: 10^{-8} (Pa) Applications: High-resolution SEM</p>	<p>Emitter material: Zirconia/Tungsten Luminance: 10^8 (A / cm² / sr) Vacuum: 10^{-7} (Pa) Applications: Analytical SEM</p>

Prinsip kerja

- Filamen dipanaskan dengan dialiri arus listrik hingga mengemisikan (memancarkan) Elektron.
- Elektron tersebut di ekstraksi dan dibentuk menjadi berkas elektron oleh katoda dan anoda.
- Berkas elektron selanjutnya dimasukkan ke sistem pemercepat.
- Di dalam sistem pemercepat, berkas elektron dipercepat (diberi tambahan energi) hingga mencapai kebutuhan energi untuk iradiasi.
- Fungsi sungkup penahan panas untuk mengurangi perpindahan panas dari filamen ke dinding (isolator).

SE Diode & Triode

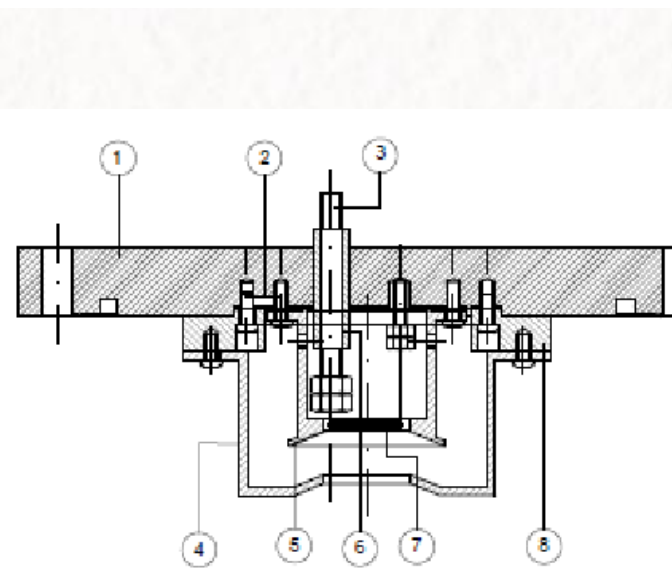
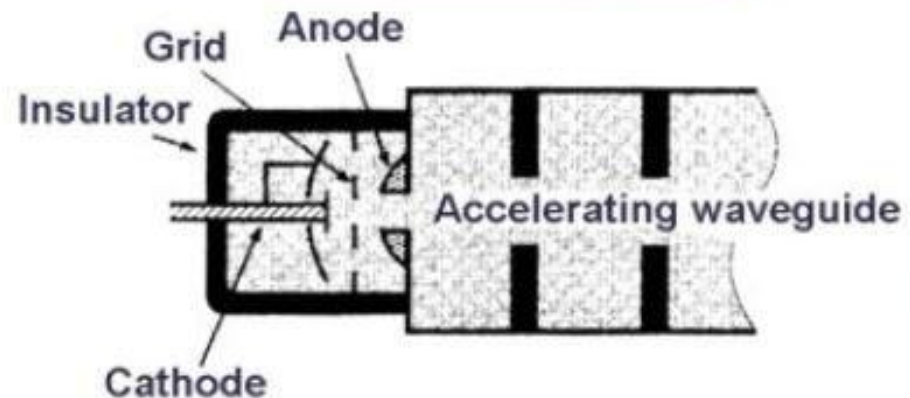
Diode type gun



Keterangan Gambar Diode:

1. Flens
2. Sekrup
3. Feedthrough daya UHV
4. Pelindung panas
5. Elektroda katoda tipe Pierce
6. Feedthrough untuk pemegang filamen
7. Filamen tungsten

Triode type gun



Keteranga Gambar Triode:

1. Flens
2. Sekrup
3. Feedthrough daya UHV
4. Pelindung panas di dioda ES dan merupakan elektroda pemfokus
5. Elektroda katoda tipe Pierce
6. Feedthrough untuk pemegang filamen
7. Filamen tungsten
8. Cincin Alumina.

Reference:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27806583/>

DOI: 10.14716/ijtech.v15i1.4406

Material Katode SE

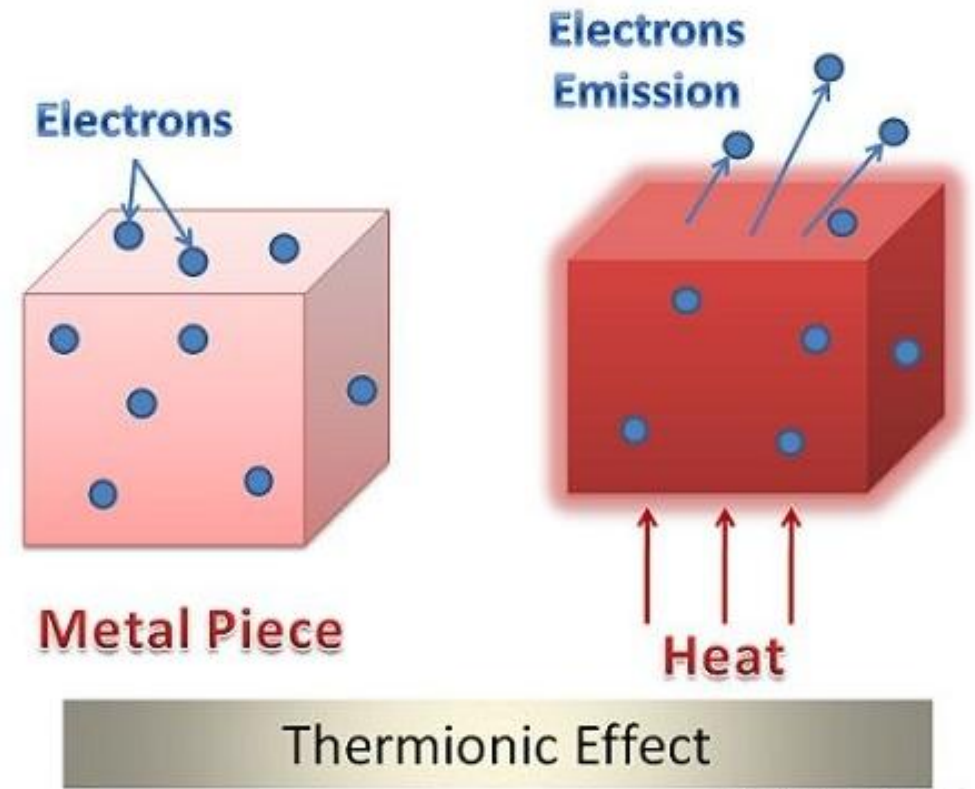
Element	W	LaB ₆	CeB ₆	Ta
Work function [eV]	4.52	2.69	2.65	4.1

Richardson Dushman Equation

$$J_s = AT^2 e^{-b/t}$$

- Where, J_s → emission current density in amperes/m²
 T → temperature of surface in Kelvin
 A → Plank's constant (Amperes/m²/K²)
 b → constant of the emitter in Kelvin's
 e → natural logarithmic base, its value is 2.7183.

Material	A in A/m ² /K ²	b in K	φ in eV	Melting Point in K
Carbon	602 × 10 ³	54,500	4.7	
Caesium	162 × 10 ³	21,000	1.81	301
Molybdenum	602 × 10 ³	49,900	4.3	2895
Nickel	268 × 10 ³	58,000	5.0	1725
Thorium	602 × 10 ³	39,400	3.4	2118
Tungsten	602 × 10 ³	52,400	4.52	3655



Thermionic Effect

Electronics Coach

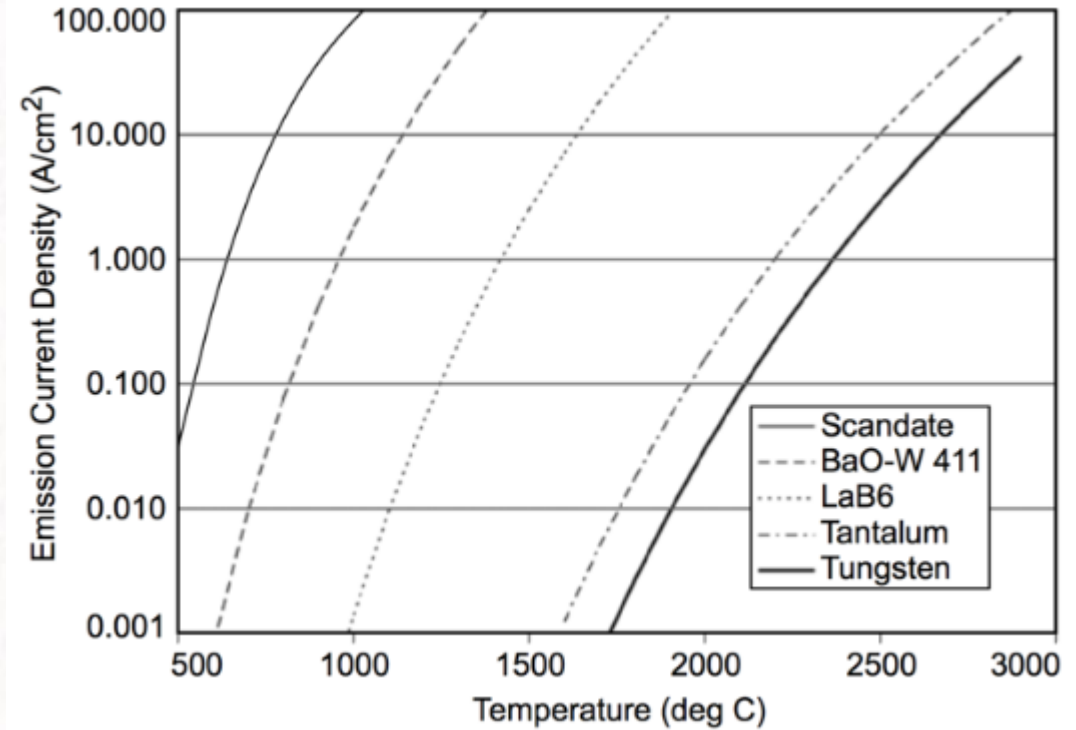
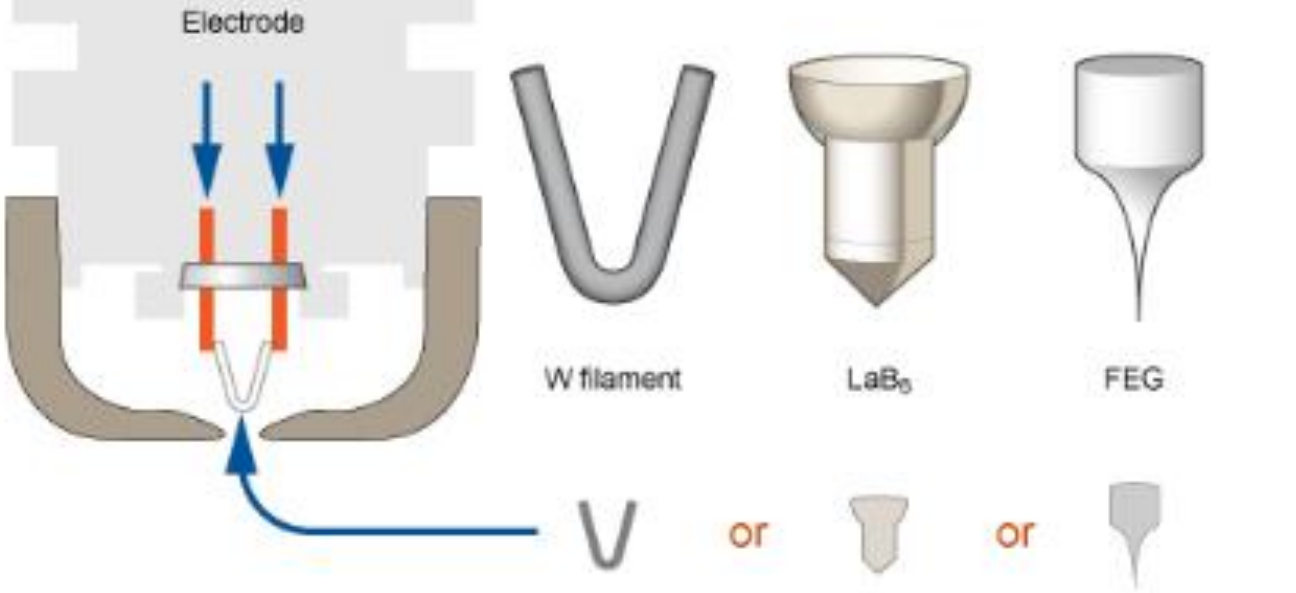
Reference:

<https://electronicscoach.com/thermionic-emission.html>

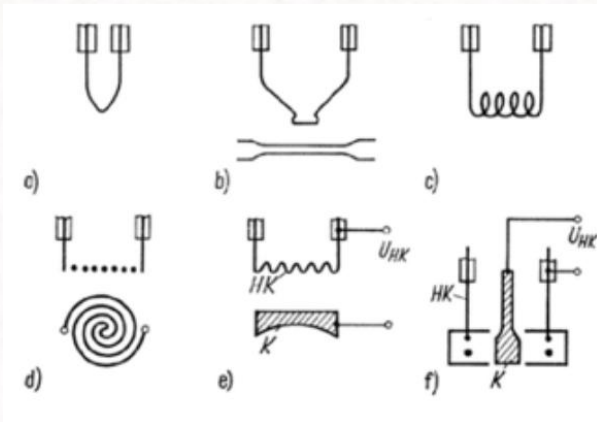
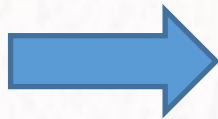
Sofia del Pozo Rodriguez: Investigation and Optimisation of a Plasma Cathode Electron Beam Gun for Material Processing Applications, (2016)

Desain Katoda SE

Sumber Elektron Field Emission Cathode



Desain Katoda
Sumber Elektron

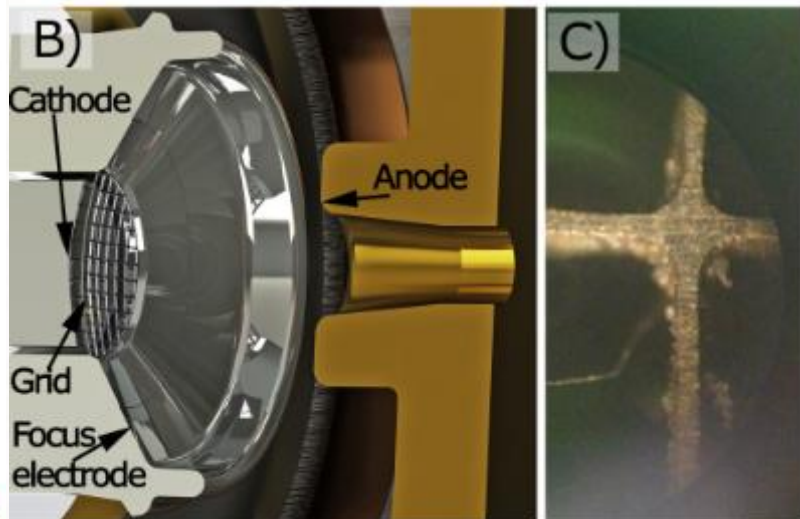
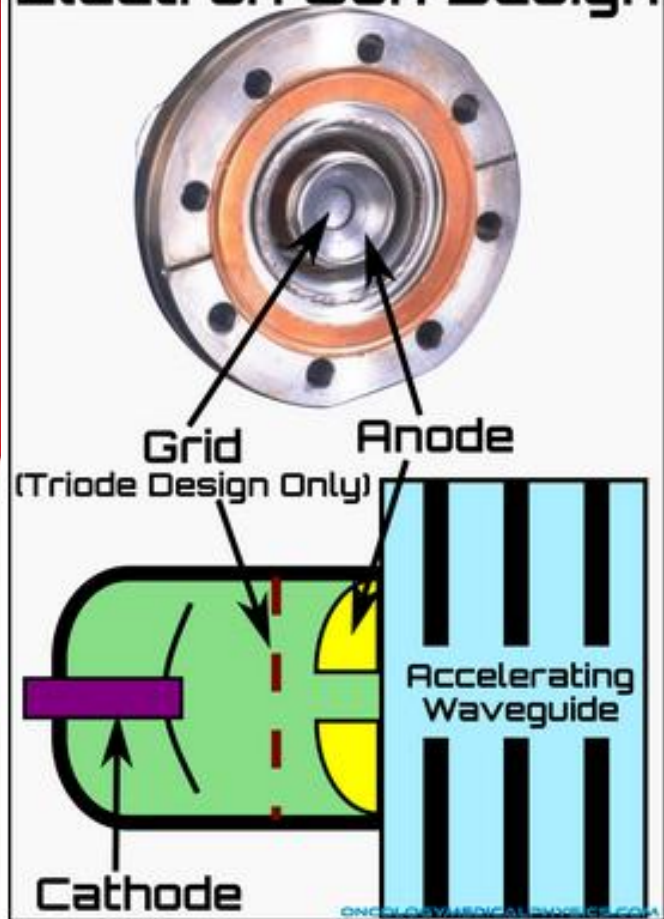


- a) hair pin filament,
- b) back-bombarded cathode,
- c) coiled filament,
- d) pancake coil filament,
- e) back-bombarded shaped cathode,
- f) inductively heated cathode rod (Schultz 1994)

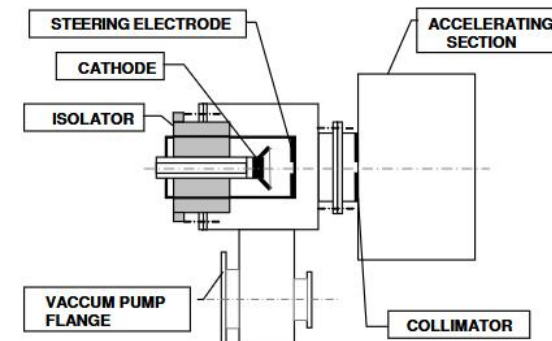
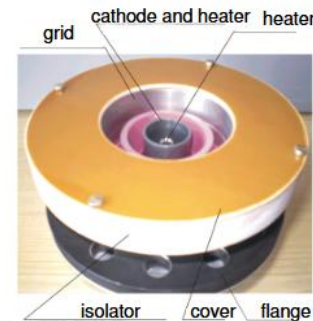
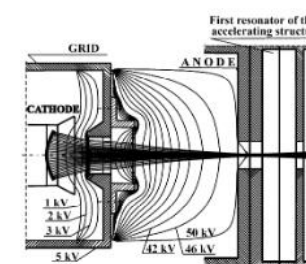
Reference:
Sofia del Pozo Rodriguez: Investigation and Optimisation of a Plasma Cathode Electron Beam Gun for Material Processing Applications, (2016)

Sumber elektron dipasaran

Electron Gun Design



Sumber Elektron LINAC Medis



Electron gun alignment

Sumber Elektron LINAC Industri

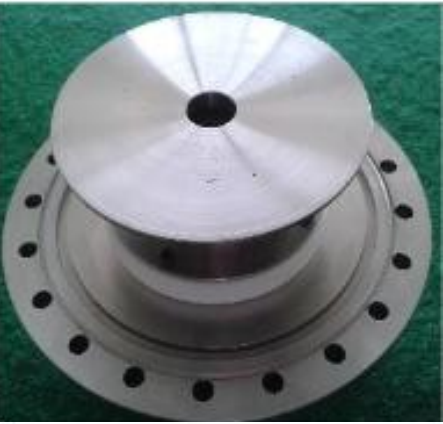
Reference:
Google Search

- A) Foto Sumber Elektron triode
- B) Tampang lintang Sumber Elektron triode
- C) Foto SEM grid Sumber Elektron triode

Sumber elektron PSTA



SE Diode
Buatan
PSTA



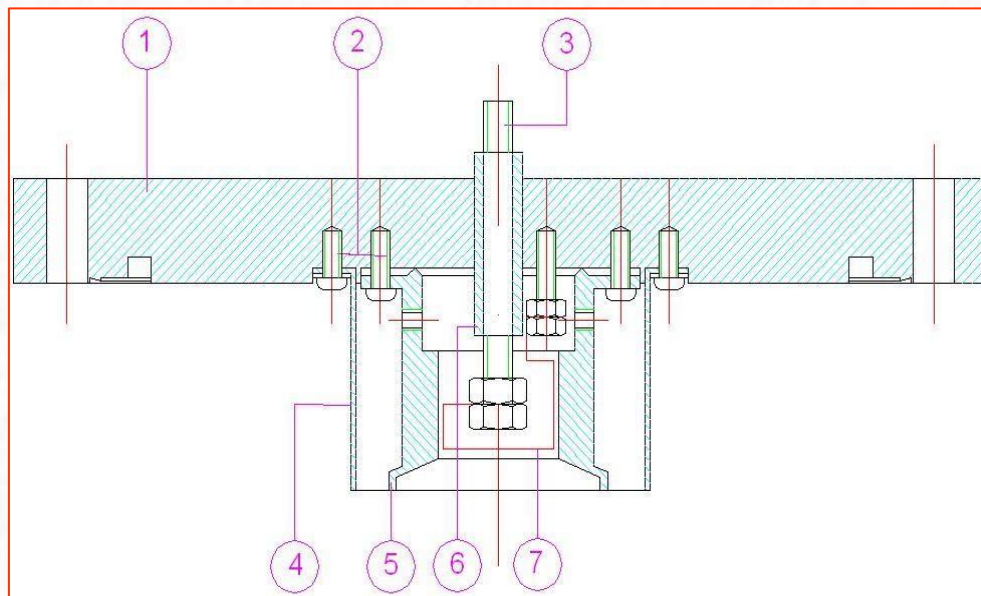
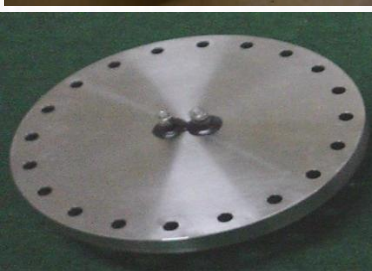
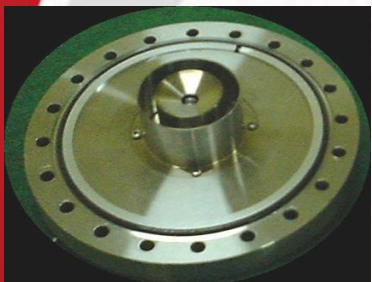
SE
Triode
Buatan
PSTA



SE
Triode
Buatan
NEC

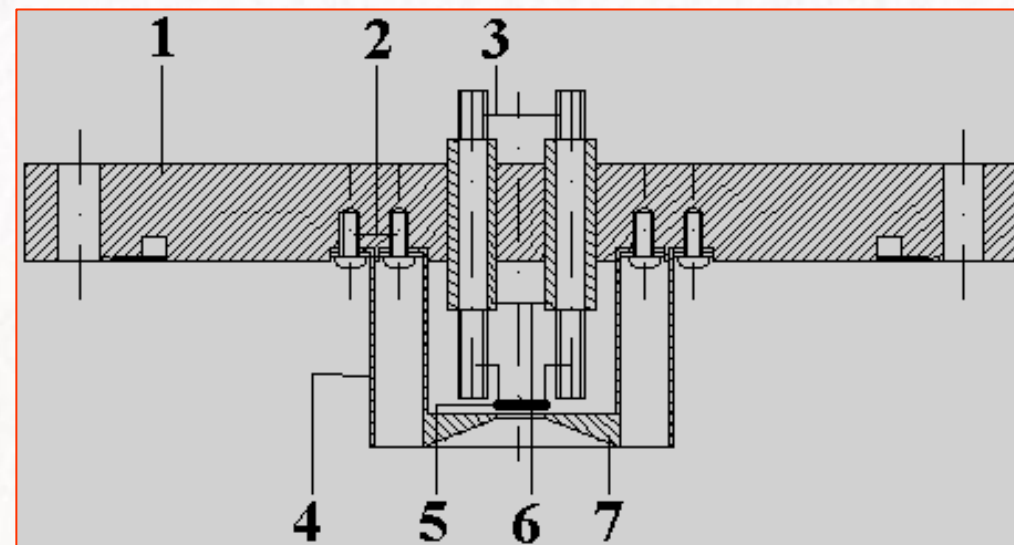
No	Paramater	Spesification	
		Diode ES	Triode ES
1	Filament	Tungsten Materials, wire diameter of 0.5 mm, spiral shape of 12 mm diameter	Tungsten Materials, wire diameter of 0.5 mm spiral shape of 12 mm diameter
2	Cathode electrode	Pierce type with an opening diameter of 25 mm	Pierce type with an opening diameter of 25 mm
3	Focusing anode	None	Modified heat shield of diode ES. The electrode of Pierce type with a hole diameter of 20 mm. Alumina ring between the flange and focusing anode
4	Extraction anode	As the electrode shape of the NEC accelerator tube	As the electrode shape of the NEC accelerator tube
5	Distance filament to focusing anode	None	10 mm
6	Distance filament to extraction anode	38 mm	38 mm
7	Distance between the electrode of the NEC accelerator tube	19 mm	19 mm
8	ES Flange	DN-160 CF	DN-160 CF
9	Heat shield	Cylinder shape	Cylinder shape

Sumber elektron PSTA



1	Flange Dudukan Katode
2	Baut Pengikat
3	Terminal Catudaya
4	Perisai Radiasi Termal
5	Elektrode Pemfokus
6	Isolator
7	Katode

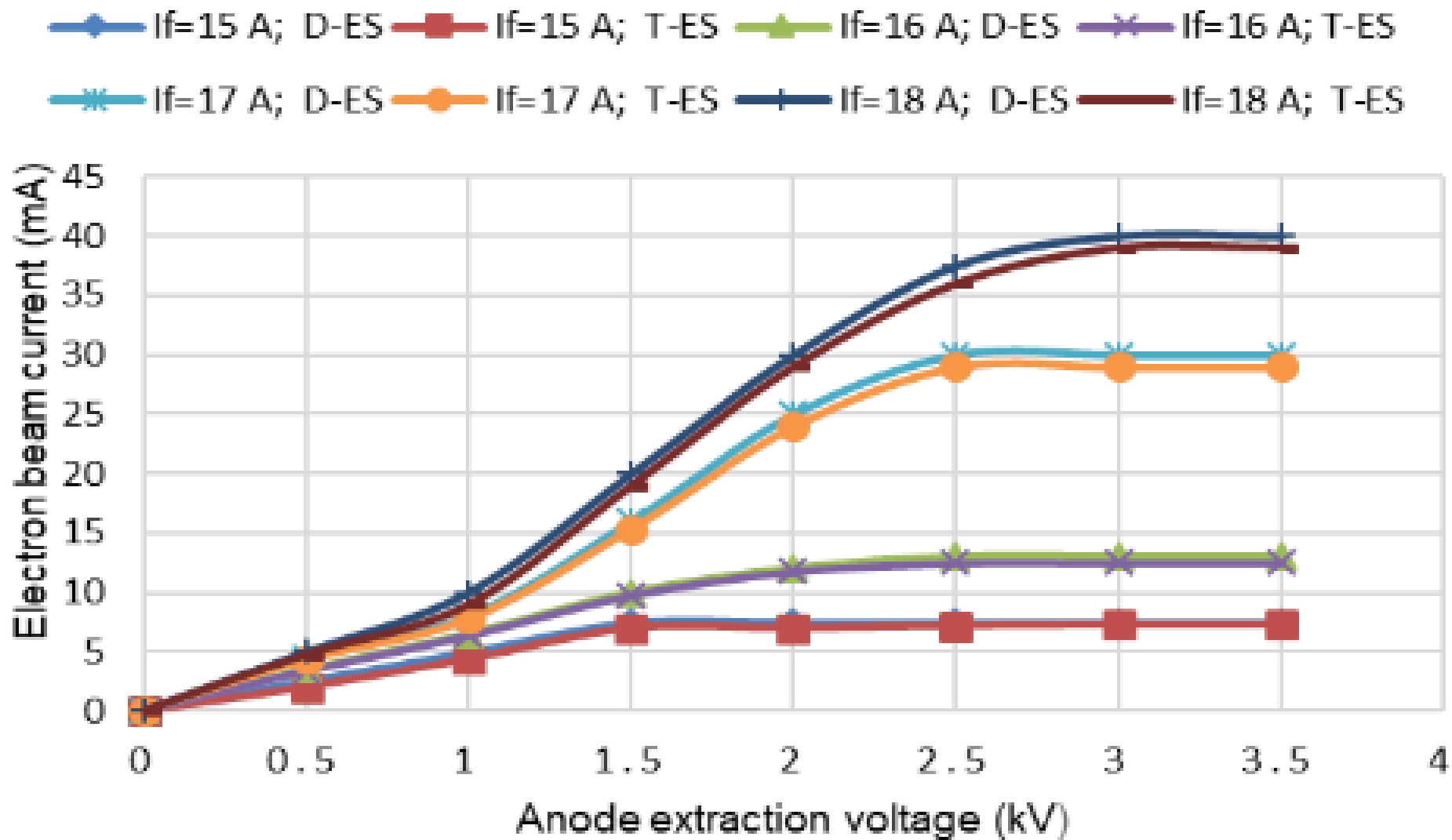
SE PSTA Generasi ke-4



1	Flange Dudukan Katode
2	Baut Pengikat
3	Terminal Catudaya
4	Perisai Radiasi Termal
5	Katode
6	Isolator
7	Elektrode Pemfokus

SE PSTA Generasi ke-3

Karakteristik SE PRTA



Perawatan Sumber Elektron

Penyebab masalah pada sumber elektron dapat dibagi menjadi 3 kelompok yaitu:

1. Emisi elektron.

Masalah emisi elektron timbul karena berkurangnya luas permukaan dan suhu filamen.

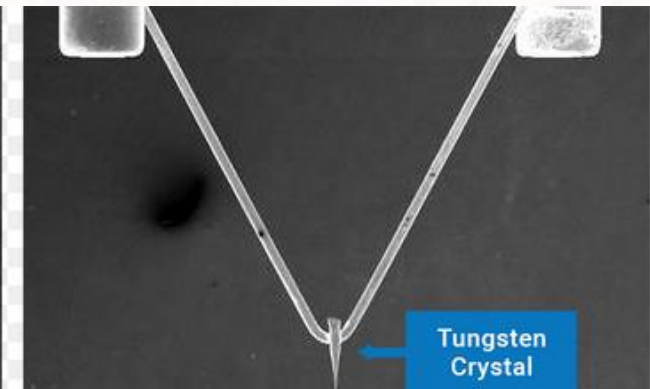
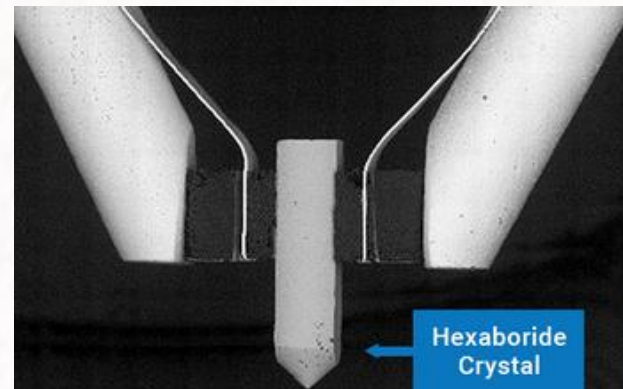
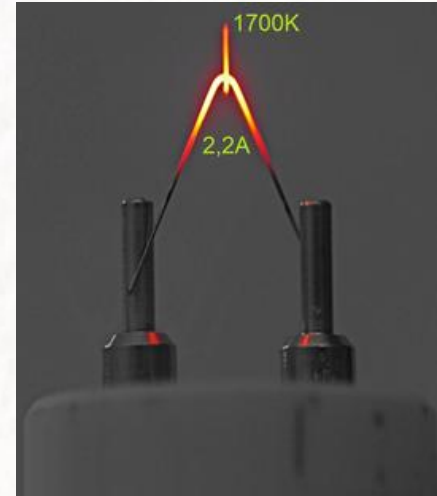
2. Permasalahan Mekanik

Kotornya permukaan flens akibat deposisi ion.

Perubahan geometri filamen (katoda) akibat pemanasan.

3. Permasalahan Elektrik.

Sumber catu daya yaitu catu daya filamen dan catu daya anoda.



Tindakan Perawatan SE

1) Penggantian filamen

- Lepas elektroda pemfokus.
- Ganti filamen dan hati-hati dalam pemasangannya.
- Pasang kembali elektroda pemfokus.

2) Pembersihan sumber elektron

- Jika sumber elektron dibuka, dengan hati-hati bersihkan: permukaan katoda, anoda dan flens.
- Deposit ion (atom yang terionisasi dan menjadi kerak/lapisan pengotor) pada permukaan katoda dapat dibersihkan dengan menggunakan kain lap/kertas gosok.
- Setelah permukaannya dikeringkan, bersihkan dengan menggunakan larutan organik (dilap dengan alkohol).
- Setelah semua komponen sumber elektron kering maka dapat dirakit kembali.

3) Pemeriksaan elektrik

- Untuk pemeriksaan terhadap komponen catu daya dari sumber elektron, diperlukan beberapa peralatan seperti voltmeter tegangan tinggi dan peralatan lainnya.
- Periksa kondisi transformator, penyearah dan kapasitor serta tahanan pengukur.
- Periksa kondisi kabel tegangan tinggi dan penghubungnya, terutama tentang kebersihan dari kotoran-kotoran dalam bentuk debu dan keutuhan kondisi fisiknya.

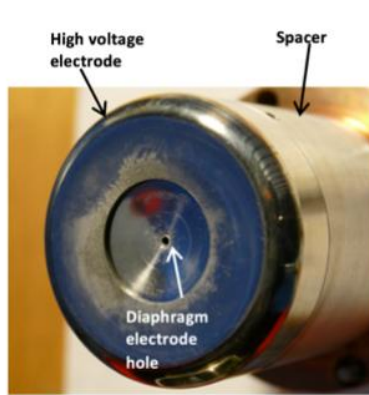
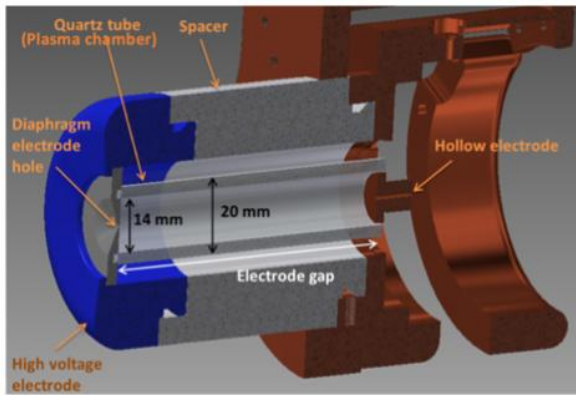


Foto elektroda sumber elektron katoda plasma

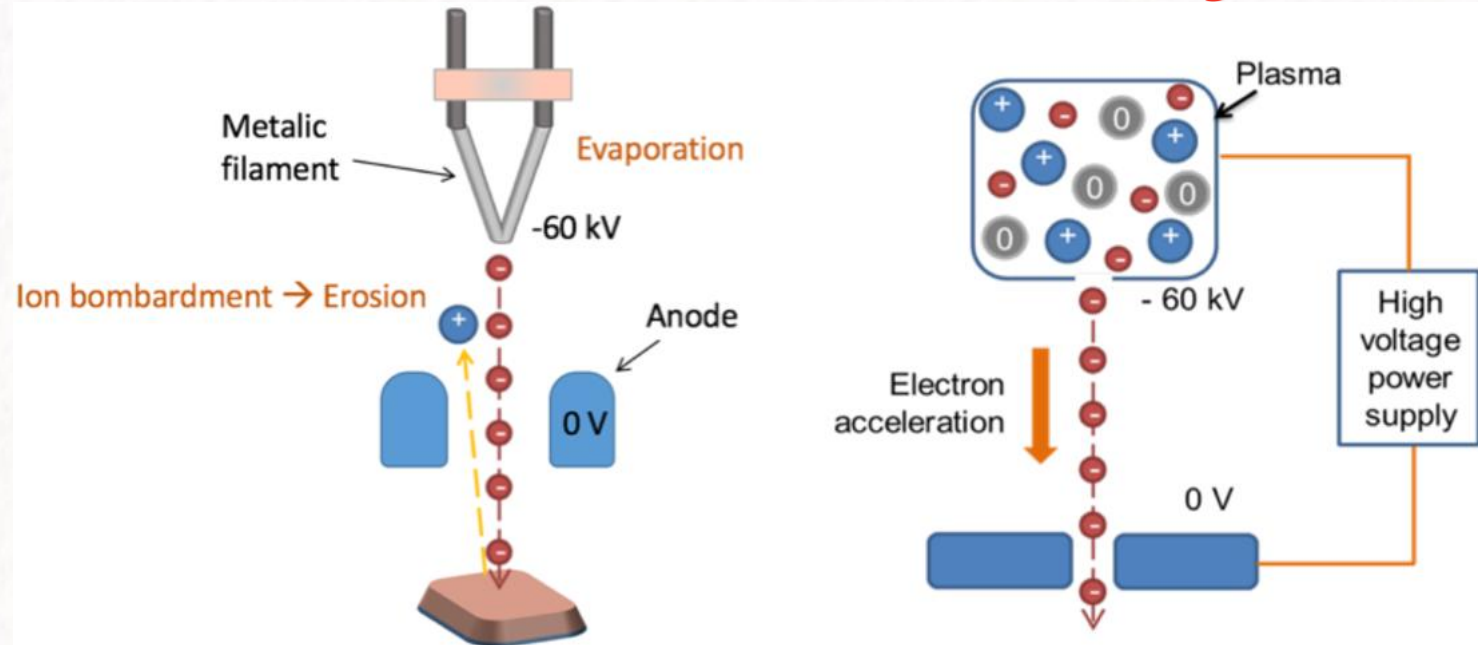
Contoh Eksperimen:

<https://www.youtube.com/watch?v=Oi-mbX0-XAA>

<https://www.youtube.com/watch?v=iX9zjMh-v3M>

Reference:

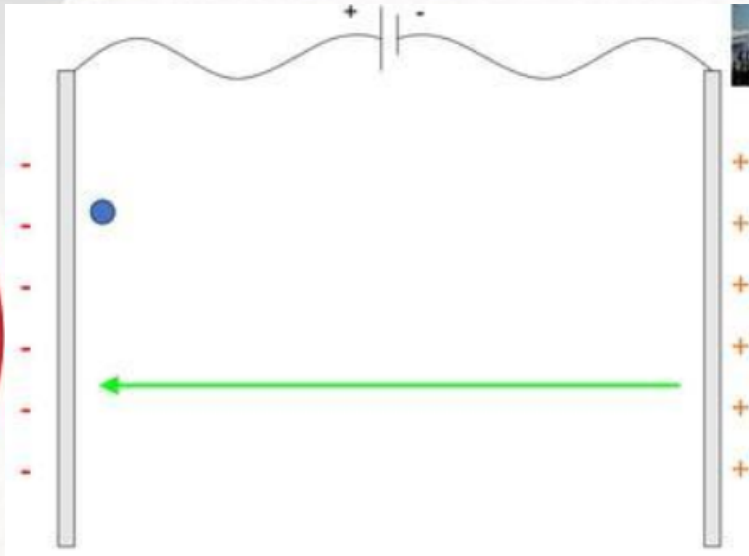
Sofia del Pozo Rodriguez: Investigation and Optimisation of a Plasma Cathode Electron Beam Gun for Material Processing Applications, (2016)



	Thermionic cathode	Plasma cathode
Lifetime	Limited by evaporation and erosion	Unaffected by evaporation and erosion
Vacuum	Limited to high vacuum	Wider range only limited by HV breakdown
Power control	Third electrode is used introducing beam aberration	RF modulation can be used so that power can be controlled keeping beam shape
Beam pulsing	Complex and expensive	Readily possible by control of RF signal

4

PERAWATAN SISTEM PEMERCEPAT



Akselerator berdasarkan sistem pemercepatan: Elektrostatik Akselerator dan Elektrodinamik (elektromagnetik) akselerator

Sistem pemercepat terdiri dari 2 bagian pokok yaitu:

Tabung Pemercepat : peralatan untuk memberikan tambahan energi (mempercepat) partikel bermuatan (elektron atau ion).

Tegangan pemercepat: Sumber energi untuk memberikan tambahan energi (mempercepat) pada partikel bermuatan (elektron atau ion).



Elektrostatik & Elektrodinamik

Type	Voltage Range	Unique Features	Applications
Cockcroft-Walton	Up to a few MV	Simple design, voltage multiplier circuit	Basic research, early nuclear experiments
Van de Graaff	Up to tens of MV	High voltage, moving belt mechanism	Nuclear physics, material science
Tandem Van de Graaff	Higher than single-stage	Dual-stage acceleration, charge exchange mechanism	High-energy physics, AMS
Pelletron	High stability	Chain of metal pellets, continuous operation	Continuous high-current applications
Laddertron and Dynamitron	High voltage	Unique mechanical configurations	Various high-voltage applications
Electrostatic Tandem with Vacuum Insulation	High acceleration rate	Vacuum insulation, large electrode surface area	High-energy proton beams

Feature	Linacs	Cyclotrons	Synchrotrons
Acceleration Mechanism	Oscillating RF fields	Constant magnetic field and RF fields	Varying magnetic field and RF fields
Path of Particles	Linear	Circular	Circular with varying radius
Energy Range	High, but limited by length	Moderate, limited by magnetic field	Very high, suitable for high-energy physics
Applications	Medical, industrial, research	Medical isotope production, research	High-energy physics, synchrotron light sources

1. Tabung Pemercepat elektrostatik

Sumber energi pemercepat yang digunakan adalah tegangan tinggi DC, dan digunakan sebagai tegangan pemercepat misalnya untuk Akselerator Elektron (Cockroft-Walton, Dynamitron), Akselerator Ion (termasuk Implantor Ion & Akselerator Tandem).

2. Tabung pemercepat radio frekuensi (RF)

Sumber energi pemercepat yang digunakan adalah gelombang radio frekuensi (RF), dan digunakan sebagai tegangan pemercepat misalnya untuk Sikloron, Akselerator Linier (*Linear Accelerator*).

Tabung Elektrostatik

- Berkas partikel bermuatan yang dipercepat secara kontinyu dan menggunakan tegangan tinggi DC
- Kemampuannya berkaitan dengan tegangan dadal isolator yang terjadi di sekitar tabung
- Media isolator di sekitar tabung berupa gas antara lain udara, SF₆, campuran CO₂ dan N₂ dan lain-lain (lihat
- Sesuai untuk energi rendah dan medium
- Efisiensi cukup tinggi.



Cockcroft Walton dengan tabung pemercepat atmosferic

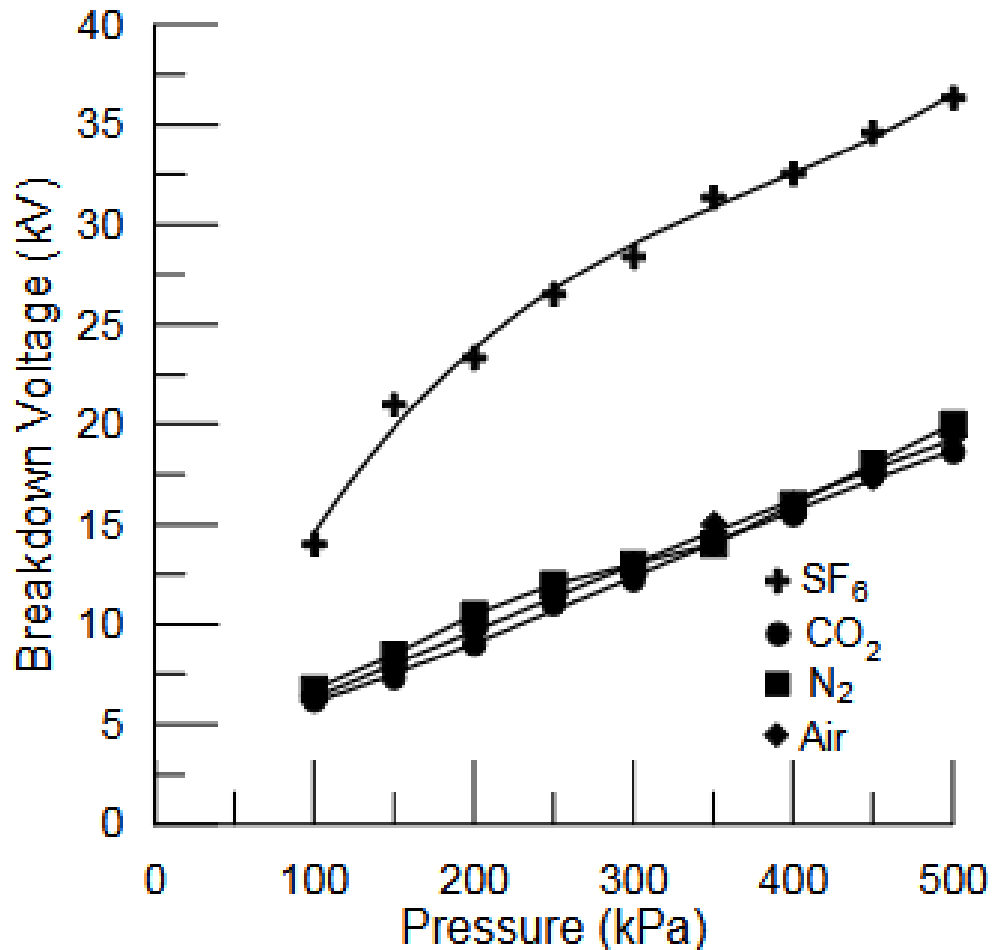


Tabung Pemercepat High gradient:
(a) three short-tubes (old standard tubes) in a 1 MV module in the present 20UR tandem accelerator at JAERI-Tokai and
(b) Two long tubes (so called compressed geometry tubes) for the replacement

Reference:

Joint ICTP-IAEA Workshop on Accelerator Technologies, Basic Instruments and Analytical Techniques (Lowry Conradie).

Gas Isolator Pada Tabung Pemercepat



Tegangan dadal untuk masing-masing jenis gas berbeda-beda.

Berdasarkan hubungan tegangan dadal sebagai fungsi tekanan gas, untuk masing-masing gas yang banyak digunakan sebagai isolator tegangan tinggi, gas sulfurheksaborid (SF₆) mempunyai tegangan dadal paling tinggi pada tekanan yang relatif rendah.

Reference:

https://www.researchgate.net/publication/228873410_BREAKDOWN_CHARACTERISTICS_OF_GASES_IN_NON-UNIFORM_FIELDS

Tabung Pemercepat DC



a. tipe *general purpose*

(4 pcs disusun menjadi 1 kesatuan)

Berfungsi untuk pemercepat elektron (akselerator elektron) maupun ion (akselerator ion)

Spesifikasi

- Pemercepatan 75 kV/pcs di lingkungan udara terbuka
- Pemercepatan 200 kV/pcs dilingkungan SF₆ pada tekanan 2 atm



Biasanya untuk pemercepat ion (akselerator ion yaitu akselerator tandem)

Spesifikasi

- Pemercepatan 335 kV/pcs dilingkungan SF₆ pada tekanan 80 psi (5,44 atm atau 5,52 bar)

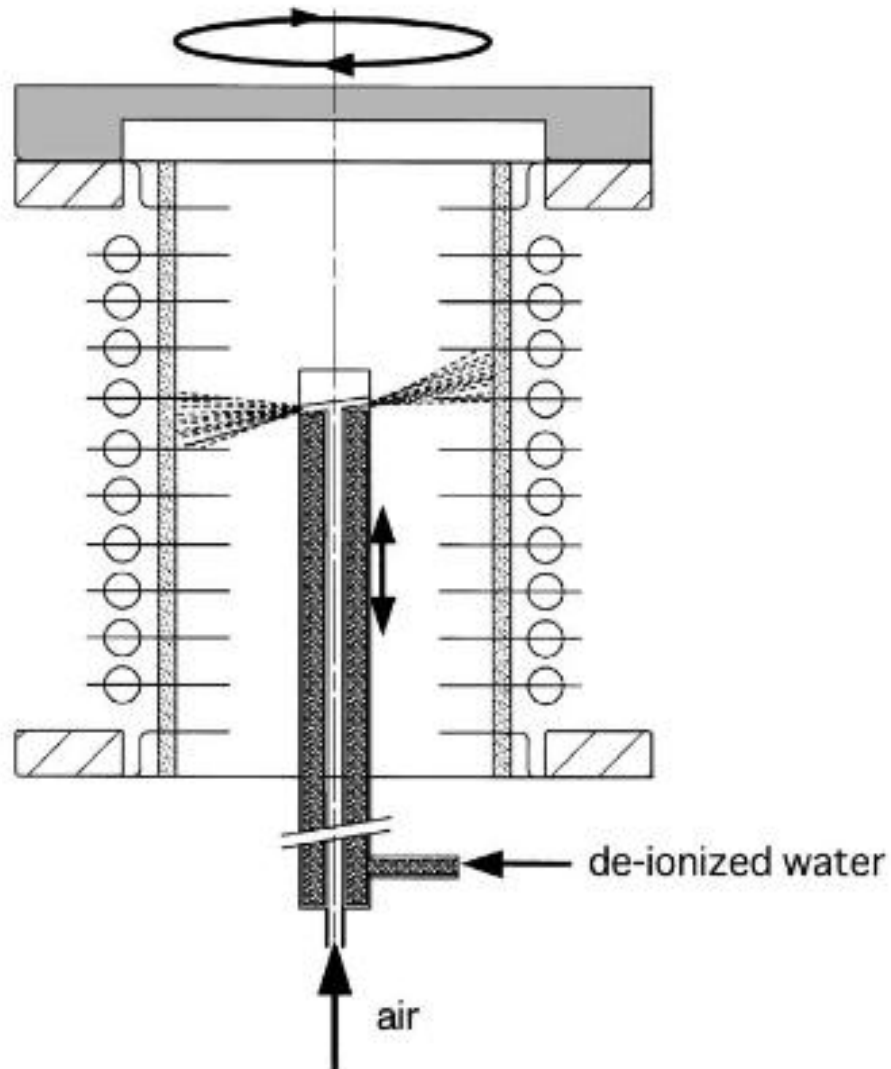


b. tipe *high gradient*

(2 pcs disusun menjadi 1 kesatuan)

Reference:

<https://www.pelletron.com/products/acceleration-tubes/>



Pada prinsipnya tabung akselerator tidak banyak mengalami masalah dalam perawatan. Karena permasalahan dalam perawatan tidak memerlukan hal khusus maka hal-hal yang harus dilakukan adalah:

1. Pembersihan

Pembersihan bagian dalam tabung, pembersihan ini dilakukan pada elektroda maupun isolator (keramik).

Pembersihan bagian luar tabung, pembersihan dilakukan pada isolator (keramik) dan cincin korona.

2. Penggantian tahanan pembagi (voltage divider)

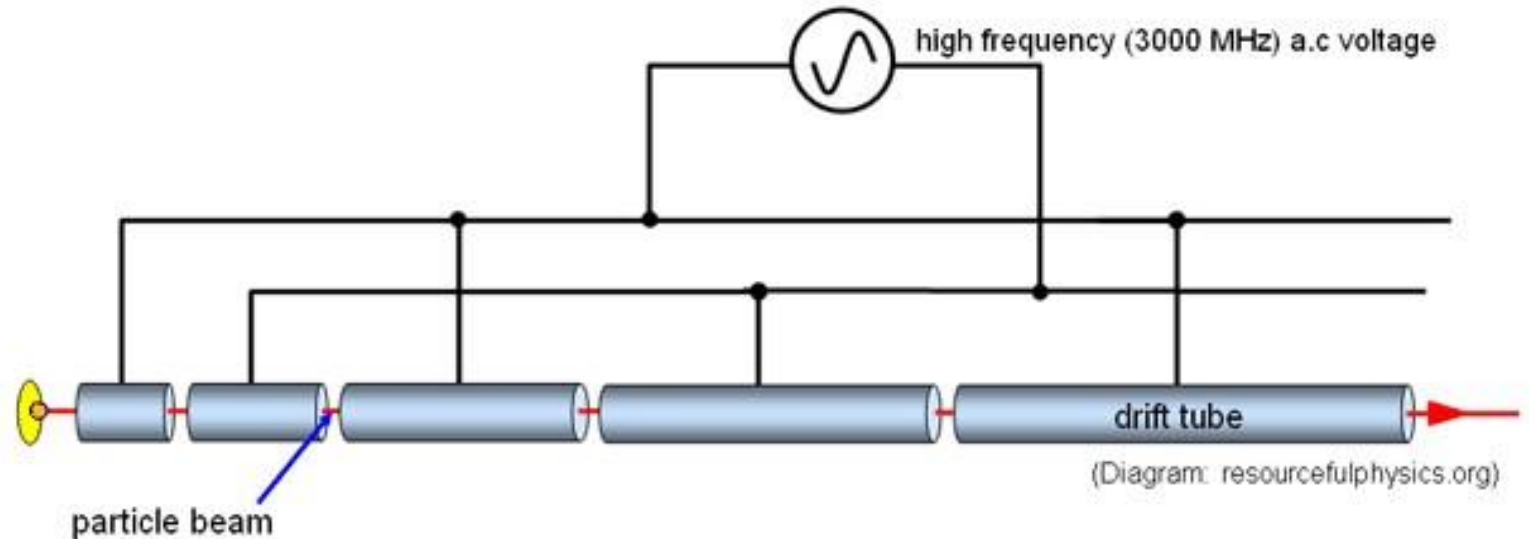
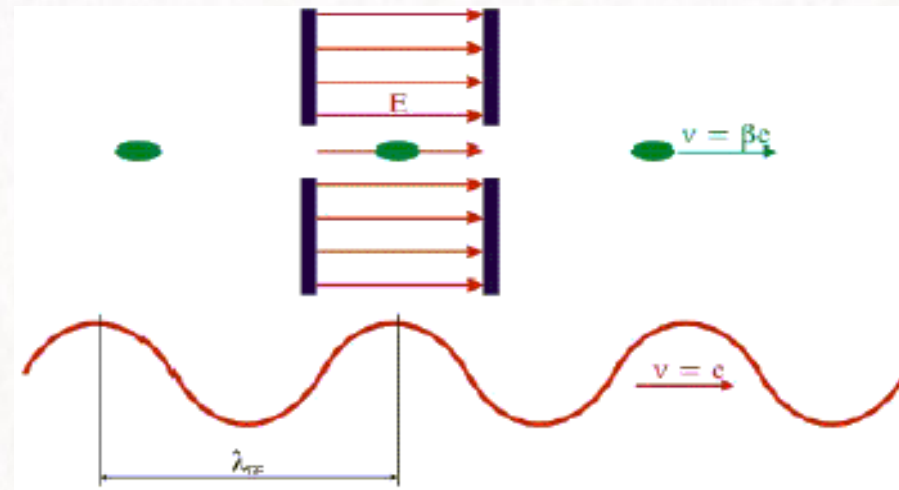
3. Dibersihkan menggunakan air bertekanan tinggi, dengan metode seperti gambar di samping.

4. Pengisian/penggantian gas isolator.

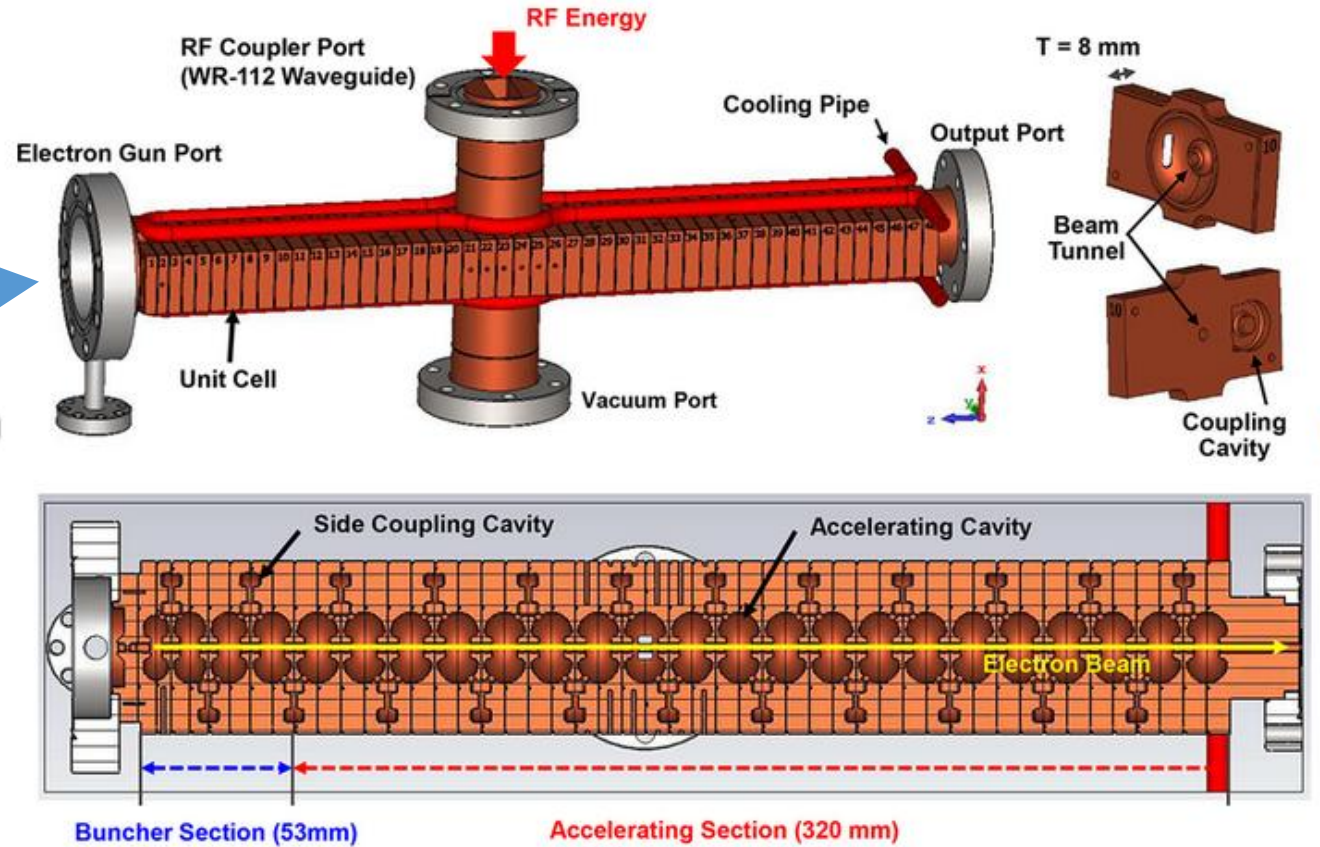
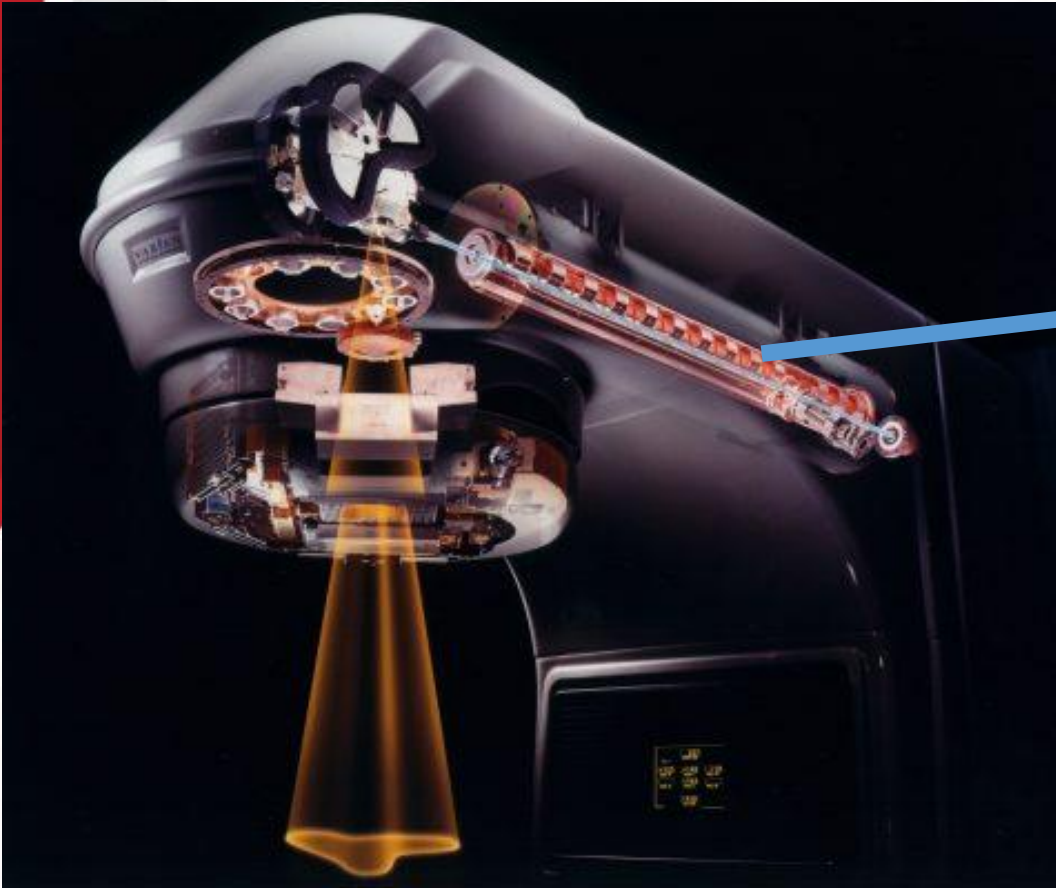
Tabung Pemercepat Elektrodinamik

Proses pemercepatan:
dilakukan secara berulang-
ulang/bertahap
menggunakan tegangan
pemercepat gelombang
radio frekuensi (sekitar 3
GHz).

Energi yang dihasilkan: energi
yang dihasilkan merupakan
perkalian amplitudo tegangan
pemercepat dikalikan dengan
jumlah pemercepatan. Misal 5
kali pemercepatan dengan
amplitudo 150 kV maka energi
yang diperoleh 750 keV.

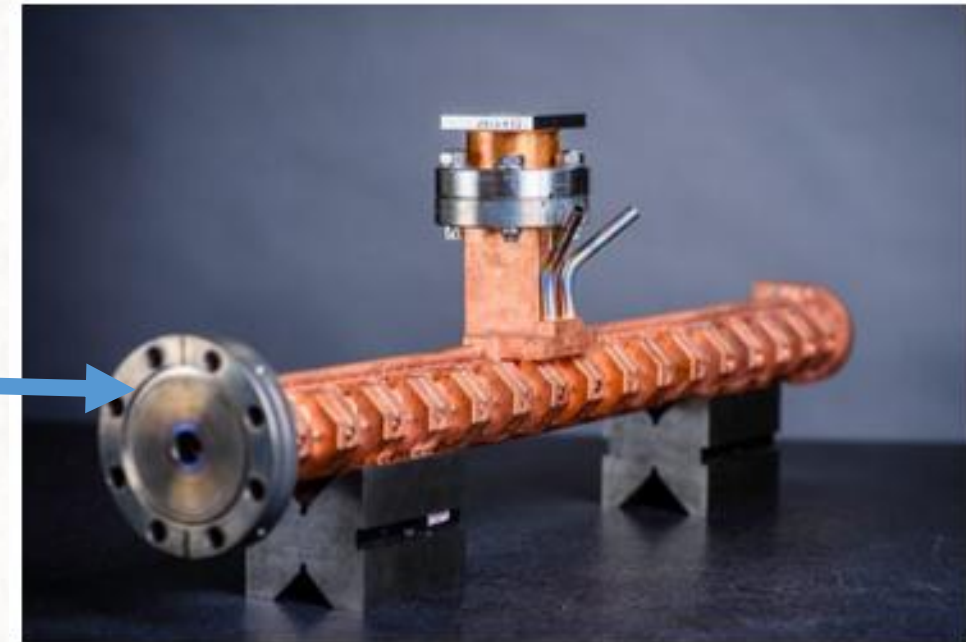
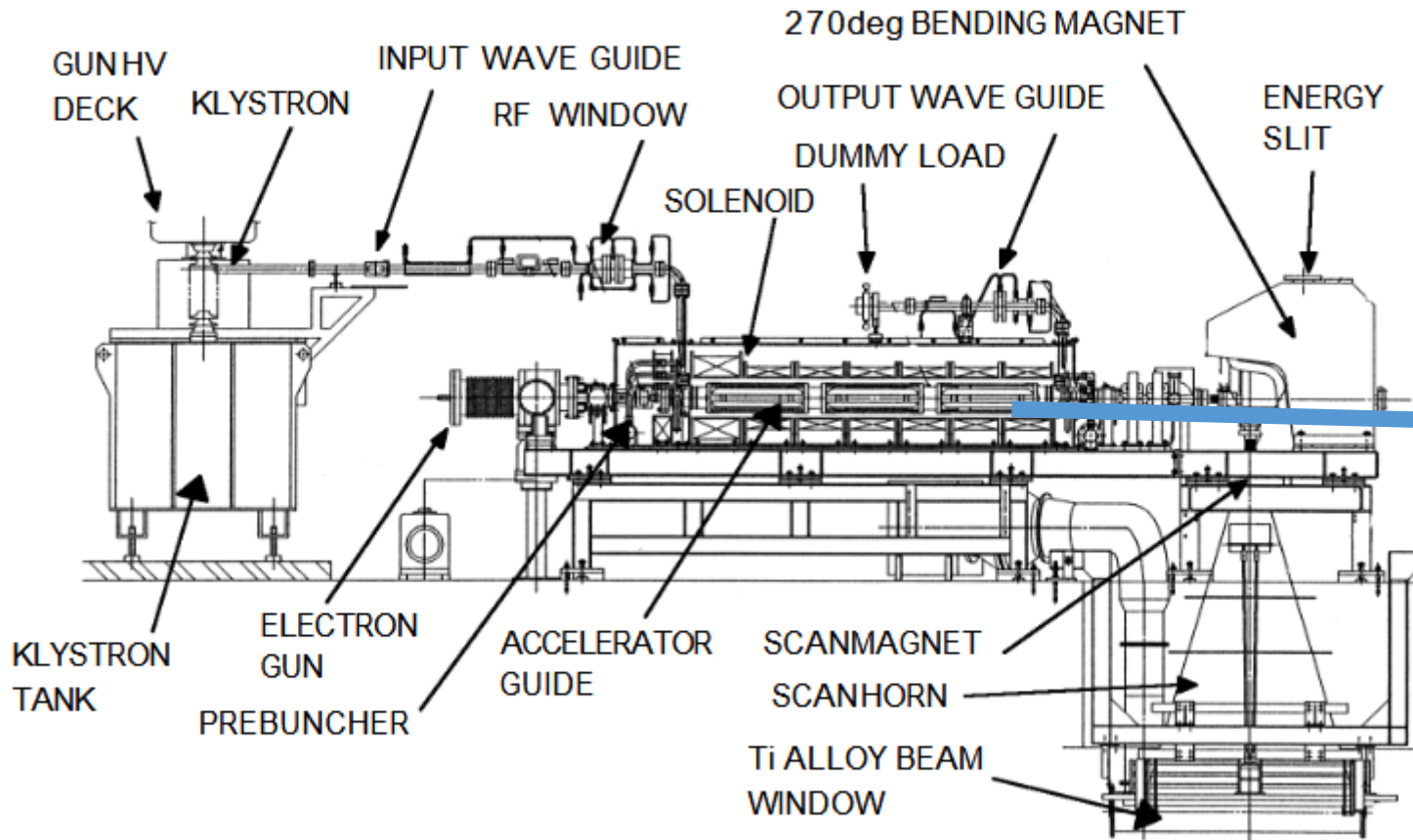


Tabung Pemercepat Elektrodinamik



X-Band RF Cavity Linac Medis

Tabung Pemercepat Elektrodinamik



S-Band RF Cavity Linac Industri

Reference:

https://www.researchgate.net/publication/316144264_Simulation_and_Experiments_of_an_S-Band_20-kW_Power-Adjustable_Phase-Locked_Magnetron

Sumber Tegangan Tinggi DC



Generator Cockcroft-Walton Buatan PSTA: (kiri) osilator, (kanan) Pelipat Tegangan

Generator ini dapat menghasilkan tegangan keluaran s/d. 2.500 kV dan efisiensinya dapat mencapai 70 %.

Generator ini di PSTA digunakan sebagai sumber tegangan pemercepat pada Implantor Ion dan Mesin Berkas Elektron (MBE).

Pengganda tegangan Cockcroft-Walton beroperasi berdasarkan prinsip penggandaan tegangan melalui kapasitor dan dioda yang disusun dalam konfigurasi seperti tangga.

Dalam rangkaian ini, kapasitor menyimpan energi listrik dan dioda mengendalikan arah aliran arus, yang memungkinkan rangkaian menghasilkan keluaran tegangan DC tinggi dari masukan AC bertegangan rendah.

Faktor penggandaan bergantung pada jumlah tahap kapasitor-dioda dalam rangkaian, dengan setiap tahap secara efektif menggandakan keluaran tegangan.

Akan tetapi, efisiensi keseluruhan menurun seiring bertambahnya jumlah tahap, terutama karena meningkatnya riak tegangan dan penurunan tegangan di seluruh dioda.

Reference:
<https://www.electricity-magnetism.org/cockcroft-walton-voltage-multiplier/>

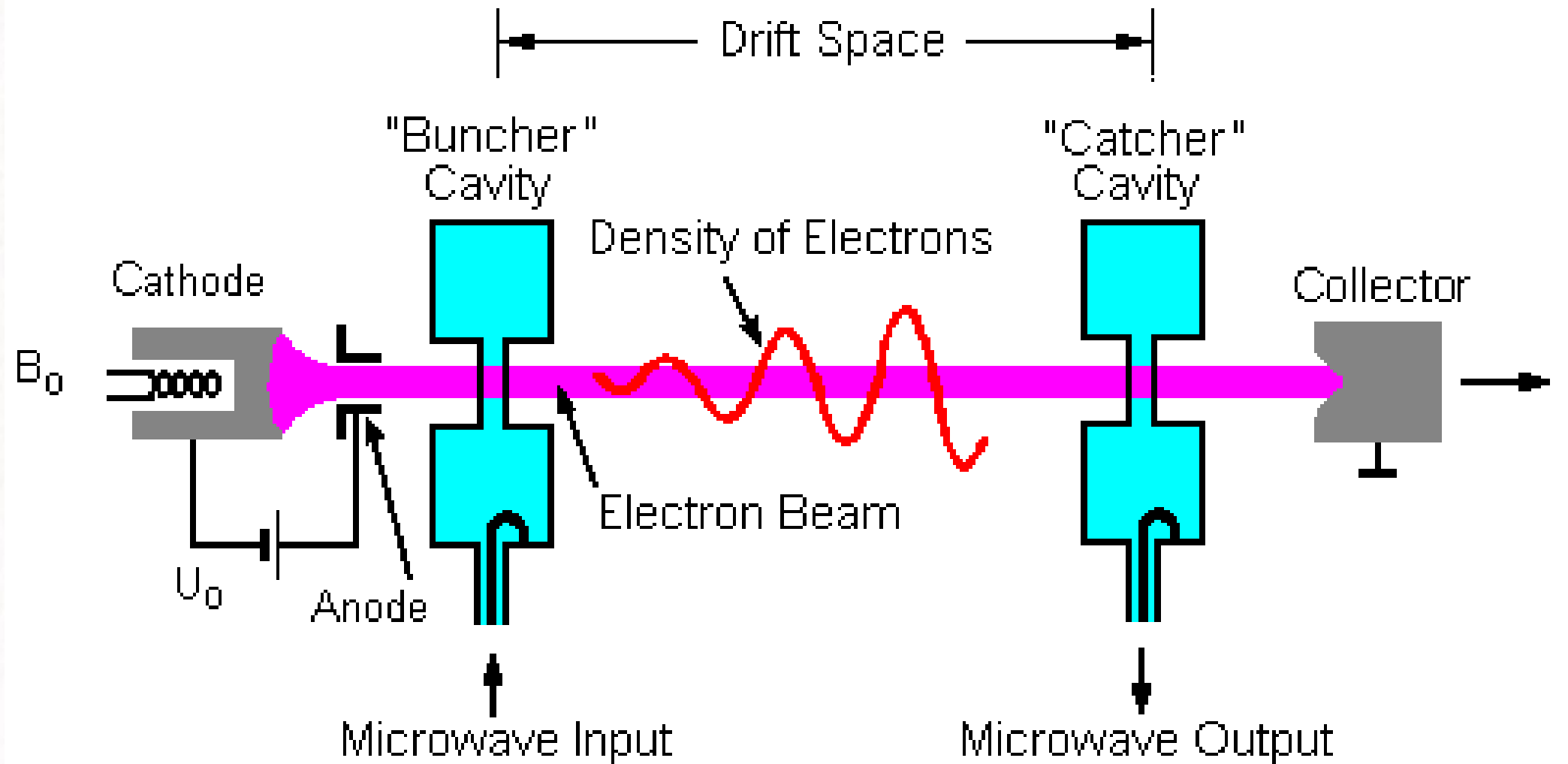
Perawatan Pelipat Tegangan

1. Pemeriksaan dan tindakan terhadap elektroda tegangan tinggi
 - Kondisi permukaan elektroda haruslah senantiasa halus, licin dan bersih.
 - Bersihkan permukaan elektroda dari penempelan kotoran-kotoran terutama debu menggunakan kain-lap.
 - Bersihkan permukaan elektroda dari bentuk oksidasi menggunakan kertas gosok halus sehingga halus dan licin.
2. Pemeriksaan dan tindakan terhadap struktur komponen atau bagian pelipat tegangan
 - Kondisi permukaan komponen atau bagian meliputi: kapasitor, dioda, sela-pengaman, simpul-simpul sambungan, kabel atau kawat penghubung, dan kolom penyangga harus halus, licin dan bersih.
 - Bersihkan permukaan komponen atau bagian tersebut dari penempelan kotoran-kotoran terutama debu.
 - Periksa dan jika perlu aturlah sela-pengaman tegangan. Jarak sela-pengaman diatur dengan mengacu harga tegangan dadal udara pada kondisi setempat, misal 25 kV/cm.

Perawatan Osilator

1. Pemeriksaan dan tindakan terhadap sumber daya anoda (SDA-10 kV)
 - Kondisi struktur rangkaian penyearah yang terdiri dari komponen- komponen dioda, tahanan, kapasitor, haruslah senantiasa bersih dari berbagai kotoran yang melekat dan tidak berdebu.
 - Kondisi kabel-kabel penghubung agar terjaga: baik kontaknya, baik isolasinya, dan bebas dari kemungkinan hubung singkat terhadap bagian lain.
 - Kondisi trafo SDA agar terjaga kualitas minyaknya, isinya, silica-gel pada tangki konservator, terminal dan kabel-kabelnya.
 - Lakukan pemeriksaan terhadap kualitas minyak trafo, minyak yang masih baik memiliki warna kuning jernih dan tegangan dadal $> 30 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$.
 - Lakukan pemeriksaan terhadap silica-gel, silica-gel yang masih baik berwarna biru, jika warnanya sudah berubah lain berarti perlu diganti.
 - Pemeriksaan juga perlu dilakukan terhadap variak SDA, terutama mekanik penggeraknya al: ketegangan V-belt, posisi dan dudukan limit-switch agar pas sebagaimana mestinya.
 -
2. Pemeriksaan dan tindakan terhadap Osilator daya
 - Kondisi komponen rangkaian al: tabung triode, sumber daya filamen, kapasitor keramik, inductor, RF-chocke, haruslah senantiasa terjaga bersih dan baik koneksinya antar komponen terkait.
 - Kondisi saluran sistem pendingin agar terjaga bebas dari kebocoran, hambatan aliran, dan kekurangan isi air.
 - Kualitas air pendingin triode agar terjaga memiliki resistivitas $> 50 \text{ kOhm cm}$.
 - Dengan menggunakan CRO, lakukan pemeriksaan terhadap keluaran Osilator, normalnya memiliki keluaran gelombang sinus dengan frekuensi antara 20 kHz - 40 kHz.

Klystron



Reference:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Klystron>

Cara kerja klystron: <https://www.youtube.com/watch?v=YAQIb7x01DM>

Klystron



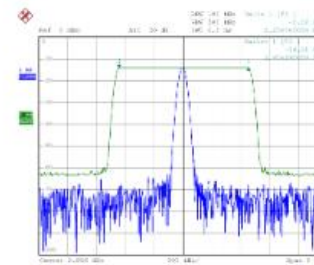
Klystron
TH 2158

Waveguide

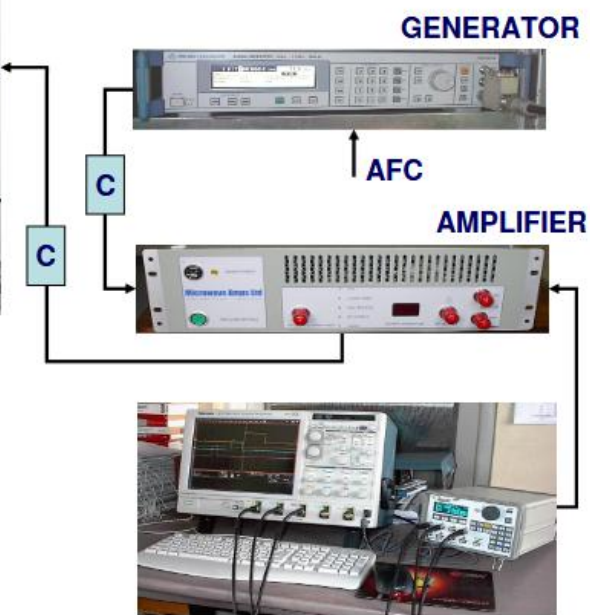
Focusing
coils

Accelerating
section

Pulse
transformer



MICROWAVE ENERGY SUPPLY SYSTEM



5

PERAWATAN SISTEM VAKUM

Tekanan Vakum

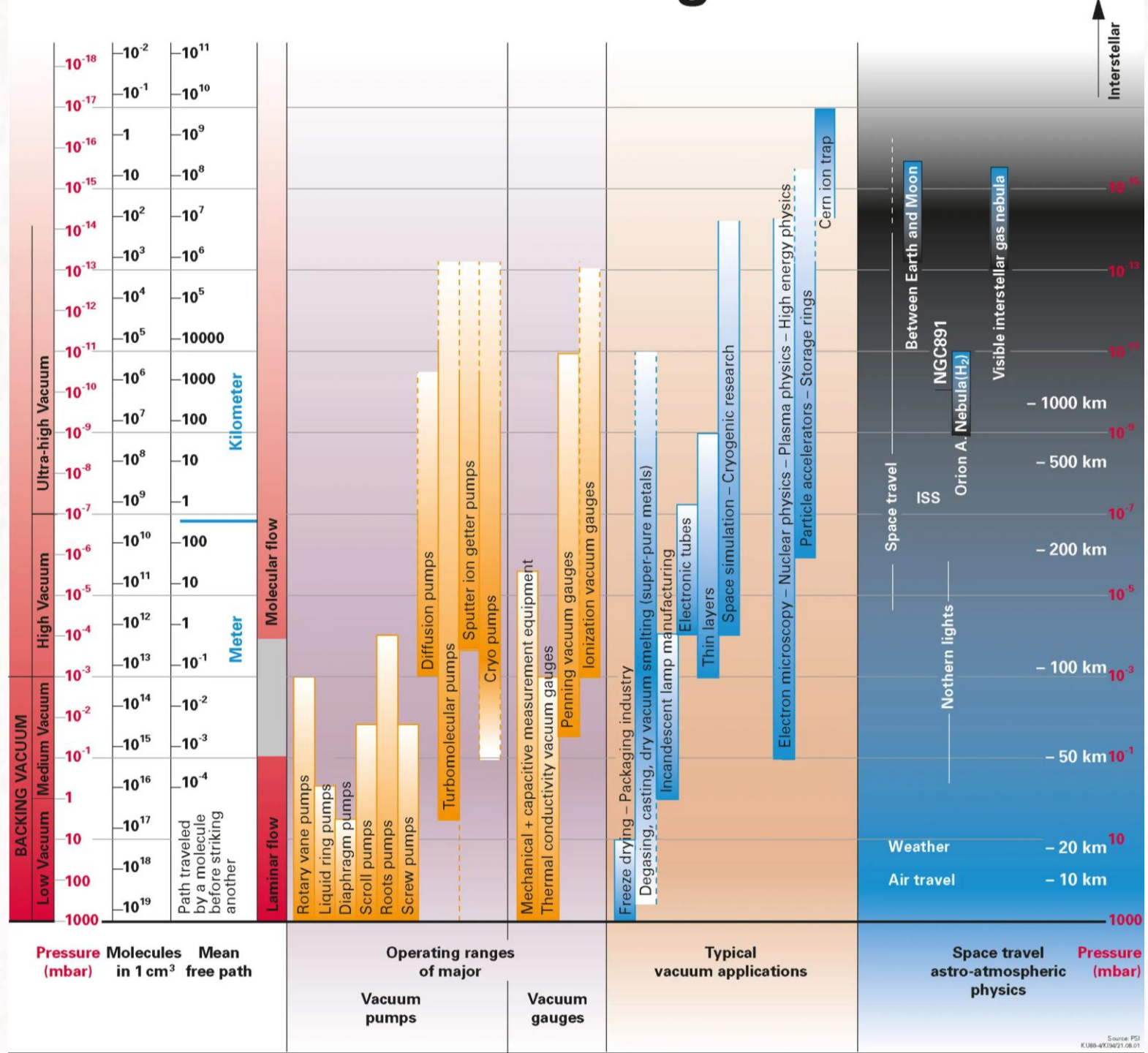
Tekanan didefinisikan sebagai rasio gaya yang bekerja tegak lurus dan terdistribusi secara merata per satuan luas.

$$p = \frac{F}{A}$$

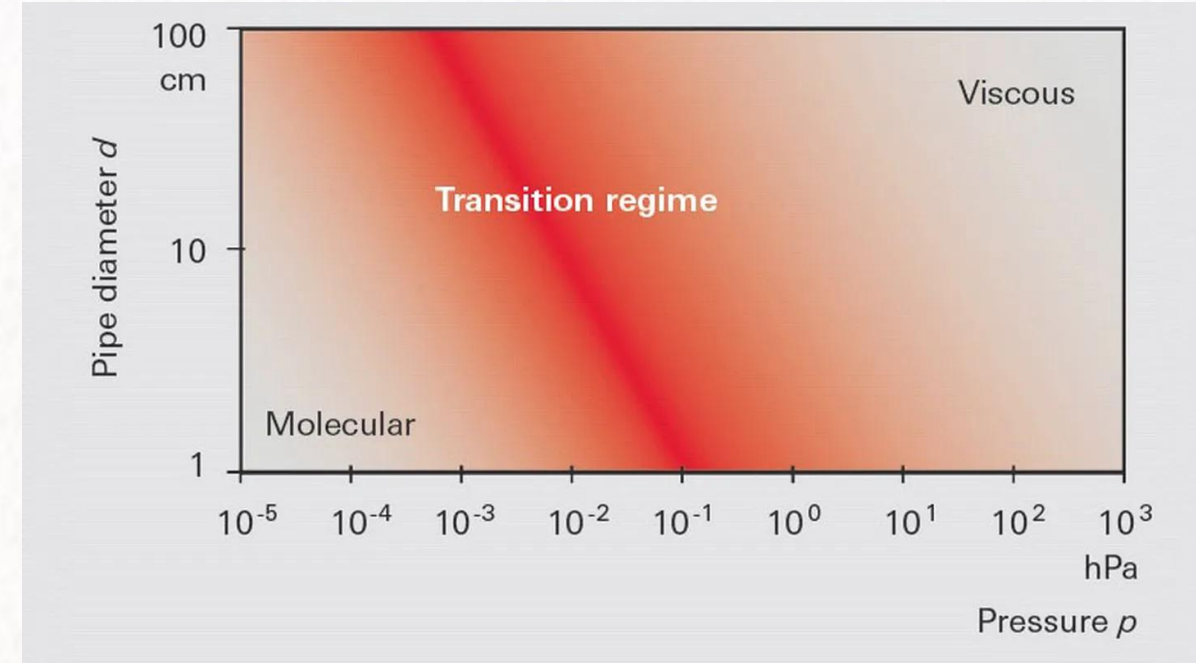
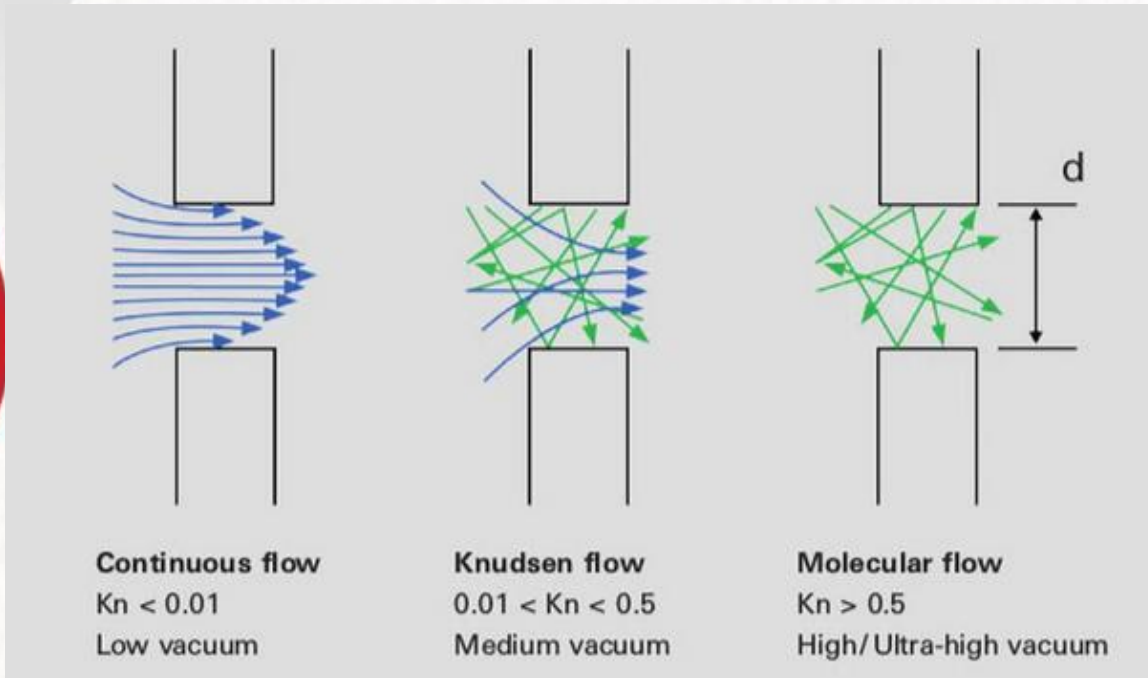
p Pressure [Pa]

F Force [N]; 1 N = 1 kg m s⁻²

A Area [m²]



Aliran Pada Sistem Vakum



$$Kn = \frac{\bar{l}}{d}$$

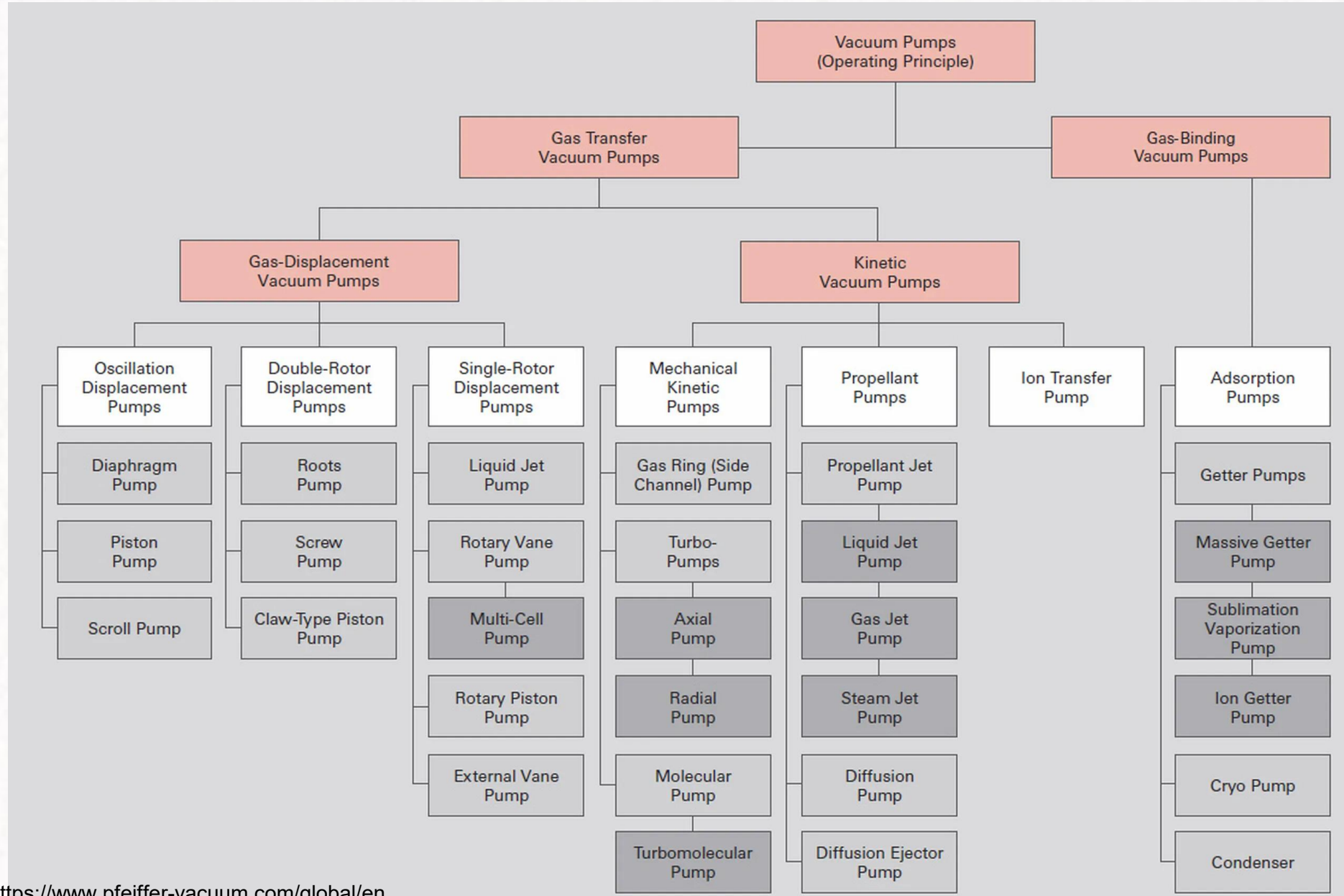
Kn: Konstanta Knudsen
 l: Panjang aliran
 D: diameter aliran

	Viscous flow	Knudsen flow	Molecular flow
	Low vacuum	Medium vacuum	High / Ultra-high vacuum
Pressure range [hPa]	103...1	1...10 ⁻³	< 10 ⁻³ bzw. < 10 ⁻⁷
Pressure range [Pa]	10 ⁵ ...10 ²	10 ² ...10 ⁻¹	< 10 ⁻¹ bzw. < 10 ⁻⁵
Knudsen number	$Kn < 0.01$	$0.01 < Kn < 0.5$	$Kn > 0.5$
Reynolds number	Re < 2,300: laminar Re > 4,000: turbulent		
p · d [hPa cm]	p · d > 0.6	0.6 > p · d > 0.01	p · d < 0.01

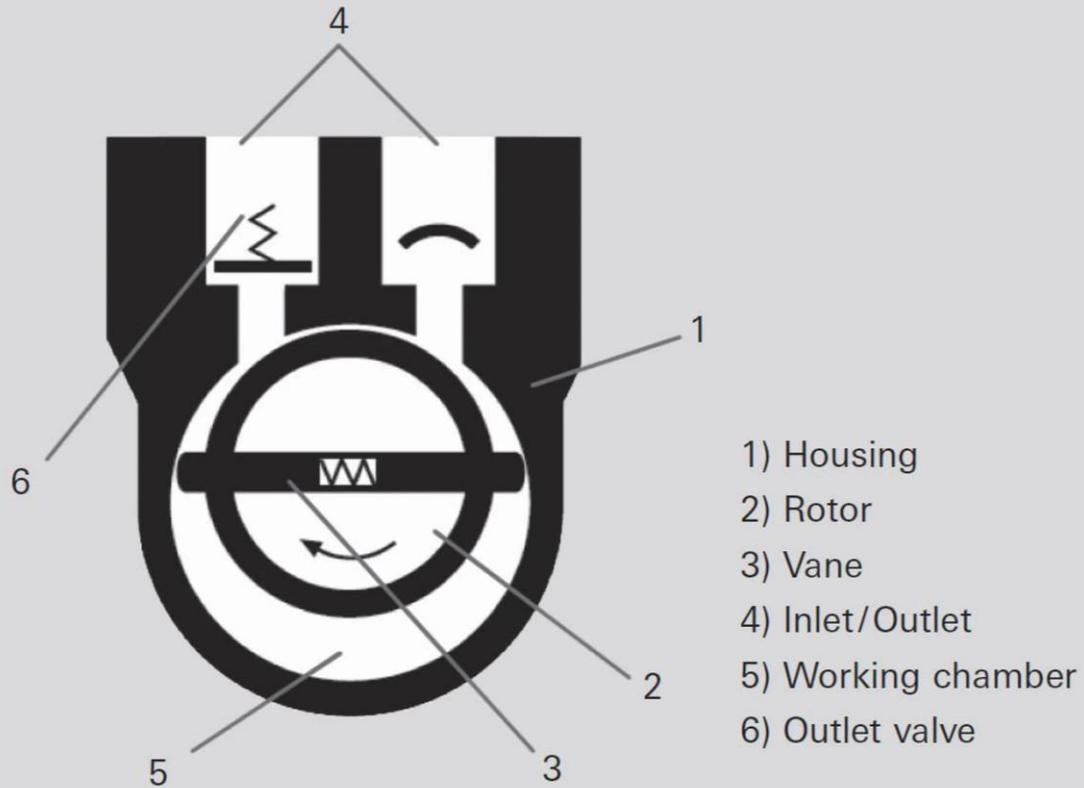
Satuan Tekanan Vakum

	Pa	bar	hPa	μbar	Torr	micron	atm	at	mm WS	psi	psf
Pa	1	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-2}$	10	$7.5 \cdot 10^{-3}$	7.5	$9.87 \cdot 10^{-6}$	$1.02 \cdot 10^{-5}$	0.102	$1.45 \cdot 10^{-4}$	$2.09 \cdot 10^{-2}$
bar	$1 \cdot 10^5$	1	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^6$	750	$7.5 \cdot 10^5$	0.987	1.02	$1.02 \cdot 10^4$	14.5	$2.09 \cdot 10^3$
hPa	100	$1 \cdot 10^{-3}$	1	1,000	0.75	750	$9.87 \cdot 10^{-4}$	$1.02 \cdot 10^{-3}$	10.2	$1.45 \cdot 10^{-2}$	2.09
μbar	0.1	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-3}$	1	$7.5 \cdot 10^{-4}$	0.75	$9.87 \cdot 10^{-7}$	$1.02 \cdot 10^{-6}$	$1.02 \cdot 10^{-6}$	$1.45 \cdot 10^{-5}$	$2.09 \cdot 10^{-3}$
Torr	$1.33 \cdot 10^2$	$1.33 \cdot 10^{-3}$	1.33	1,330	1	1,000	$1.32 \cdot 10^{-3}$	$1.36 \cdot 10^{-3}$	13.6	$1.93 \cdot 10^{-2}$	2.78
micron	0.133	$1.33 \cdot 10^{-6}$	$1.33 \cdot 10^{-3}$	1.33	$1 \cdot 10^{-3}$	1	$1.32 \cdot 10^{-6}$	$1.36 \cdot 10^{-6}$	$1.36 \cdot 10^{-2}$	$1.93 \cdot 10^{-5}$	$2.78 \cdot 10^{-3}$
atm	$1.01 \cdot 10^5$	1.013	1,013	$1.01 \cdot 10^6$	760	$7.6 \cdot 10^5$	1	1.03	$1.03 \cdot 10^4$	14.7	$2.12 \cdot 10^3$
at	$9.81 \cdot 10^4$	0.981	981	$9.81 \cdot 10^5$	735.6	$7.36 \cdot 10^5$	0.968	1	$1 \cdot 10^{-4}$	14.2	$2.04 \cdot 10^3$
mm WS	9.81	$9.81 \cdot 10^{-5}$	$9.81 \cdot 10^{-2}$	98.1	$7.36 \cdot 10^{-2}$	73.6	$9.68 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	1	$1.42 \cdot 10^{-3}$	0.204
psi	$6.89 \cdot 10^3$	$6.89 \cdot 10^{-2}$	68.9	$6.89 \cdot 10^4$	51.71	$5.17 \cdot 10^4$	$6.8 \cdot 10^{-2}$	$7.02 \cdot 10^{-2}$	702	1	144
psf	47.8	$4.78 \cdot 10^{-4}$	0.478	478	0.359	359	$4.72 \cdot 10^{-4}$	$4.87 \cdot 10^{-4}$	4.87	$6.94 \cdot 10^{-3}$	1

Klasifikasi Pompa Vakum



Pompa Rotary

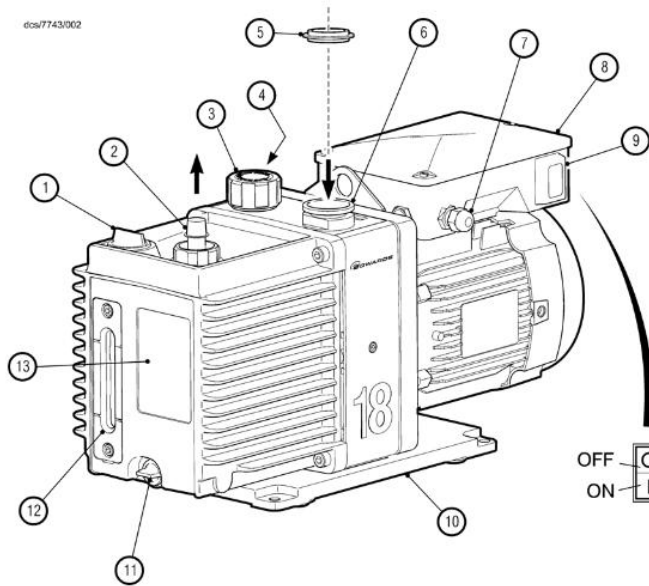
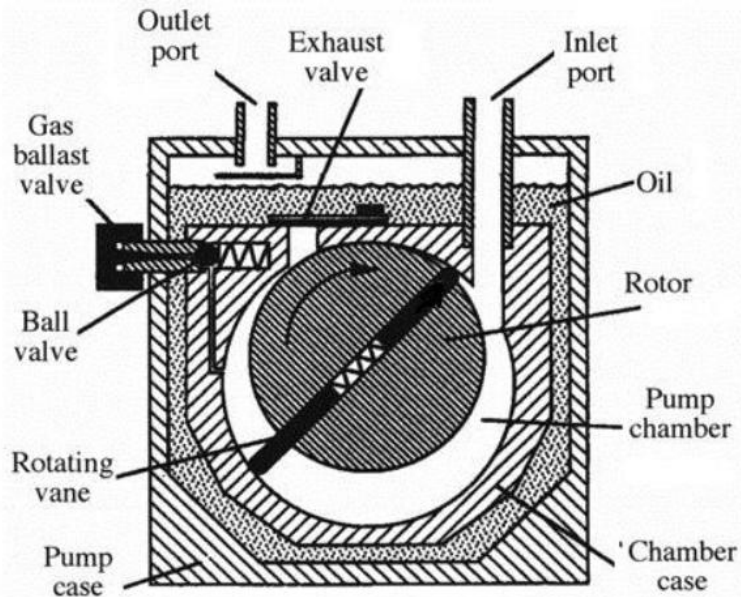


Prinsip Kerja Pompa Rotari:

Rotor dan baling-baling yang dipasang secara eksentrik membagi ruang kerja menjadi dua kompartemen terpisah dengan volume variabel. Saat rotor berputar, gas mengalir ke dalam ruang isap yang membesar hingga disegel oleh baling-baling kedua. Gas yang tertutup kemudian dikompresi hingga katup luar terbuka terhadap tekanan atmosfer. Katup luar disegel oli. Saat katup terbuka, sejumlah kecil oli memasuki ruang isap dan tidak hanya melumasinya tetapi juga menyegel baling-baling terhadap rumah (stator).



Pompa E2M5

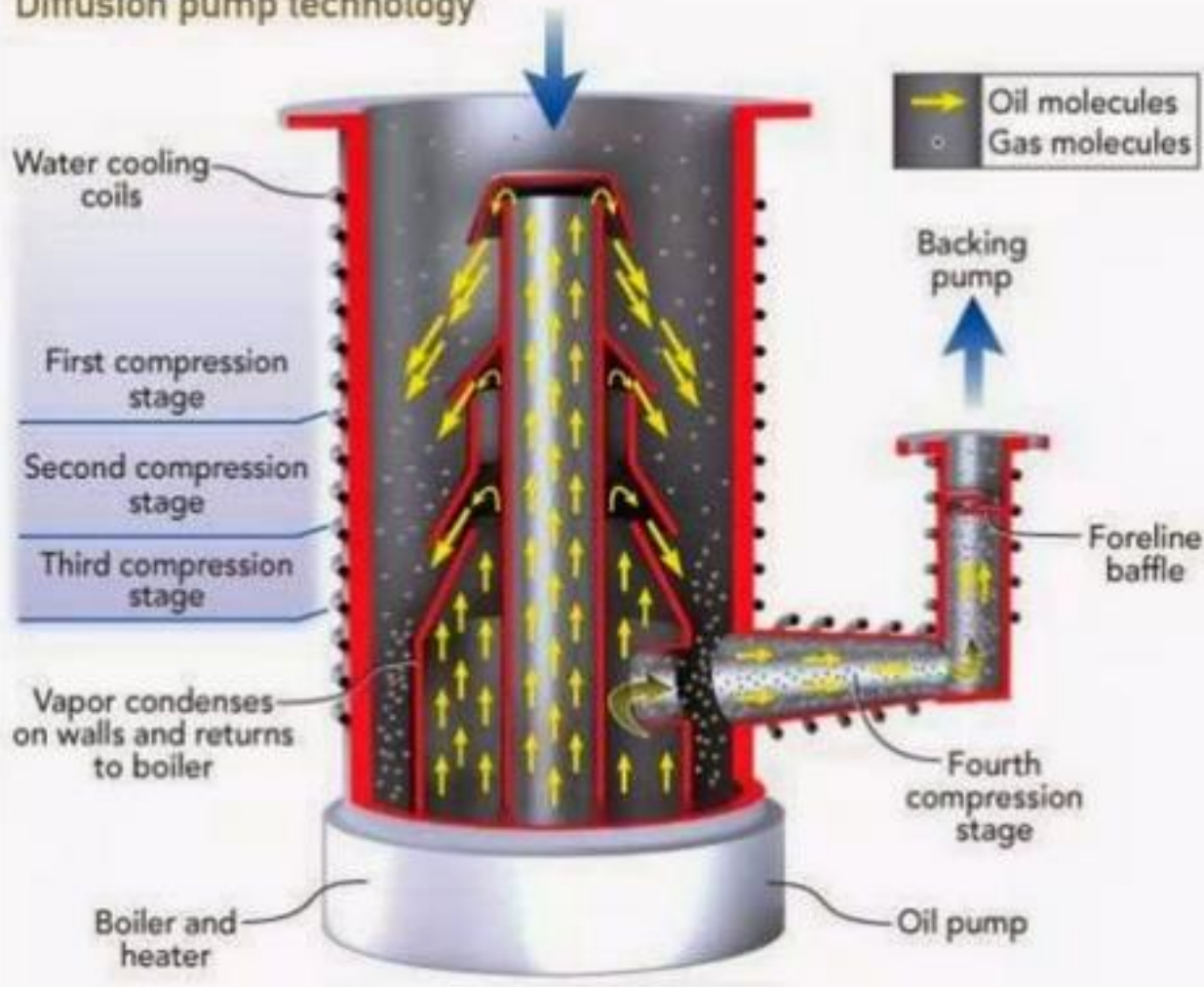


Pada setiap pompa biasanya dilengkapi dengan petunjuk perawatan misalnya pompa dari Edwards E2M. Secara garis besar perawatan pompa rotary sebagai berikut:

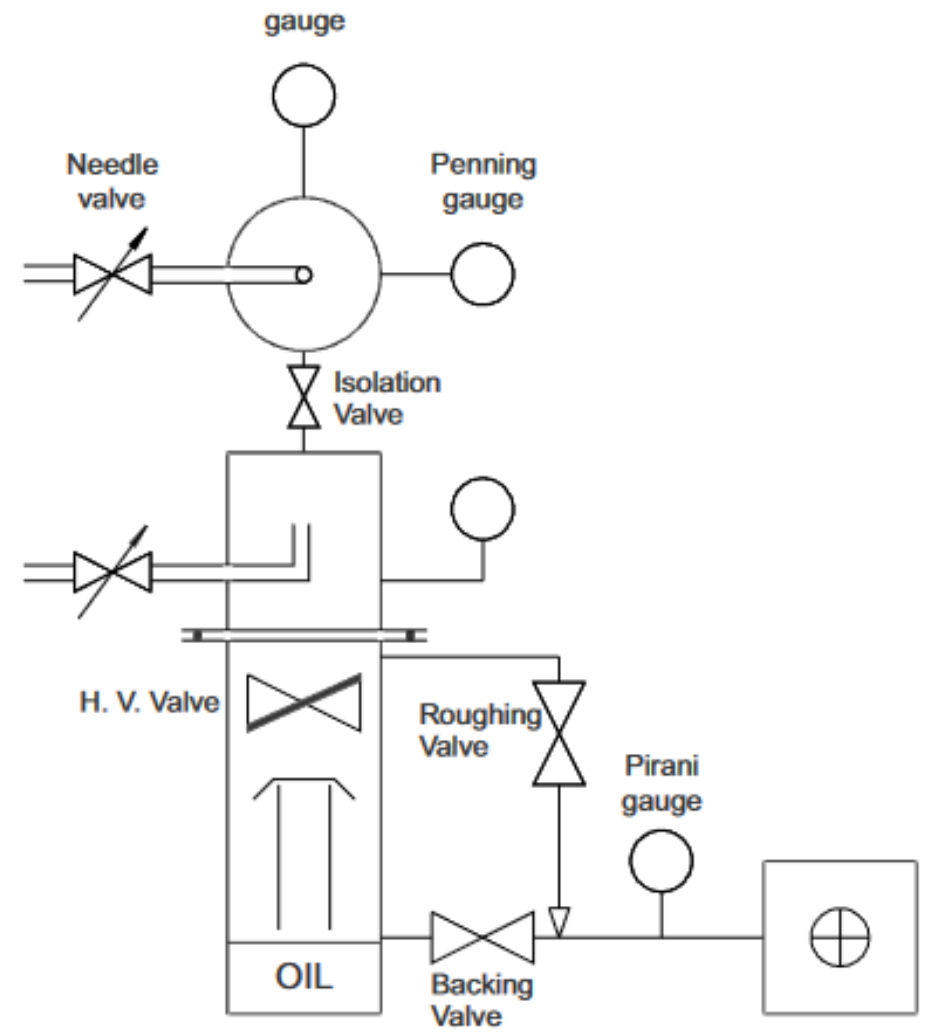
1. Perawatan harian: memeriksa aras minyak pelumas agar terjaga selalu diatas garis batas “Minimum”.
2. Penggantian minyak pelumas :
 - Dilakukan setiap 6 bulan. Jenis minyak yang disarankan antara lain : Guvacol R910, Alcatel 1DO, SHELL VTREA 100, TOTAL CORTIS 100, dsb.
 - Dalam keadaan pompa dimatikan, setelah minyak yang lama dialirkan keluar, isikan minyak baru ($\pm 0,5$ lt) sebagai pembilas, kemudian pompa dihidupkan beberapa menit.
 - Alirkan keluar minyak pembilas, kemudian isi lagi dengan minyak baru.

Pompa Difusi

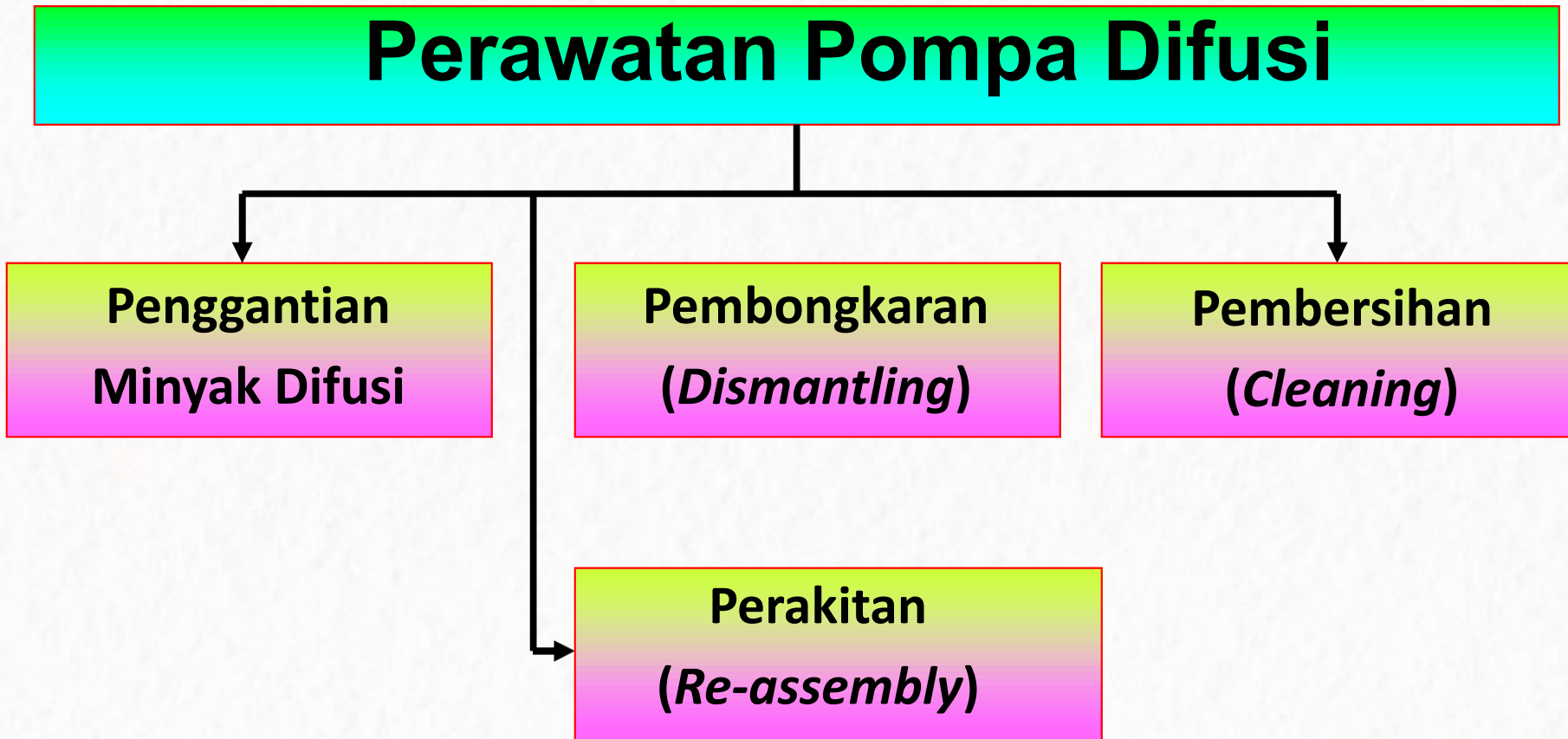
Diffusion pump technology



Bagian-bagian Pompa Difusi



Instalasi Pompa Difusi



Penggantian Minyak Difusi

1. Pengeluaran minyak → perlu dihangatkan dgn pemanas agar aliran keluar mudah, minyak keluar setelah pompa dimatikan.
2. Minyak diisikan melalui *baffle valve* atau melalui *backing spot* yaitu lubang sambungan ke *backing pump*.
3. Jenis minyak yg direkomendasikan adl: Apiezon-C (5.10-8 torr), Silicone 704 (5.10-8 Torr), Silicone 705 (3.10-8 Torr), Convalex 10 (3.10-8 Torr).

Pembongkaran

1. Keluarkan minyak dgn terlebih dulu dihangatkan dengan pemanas agar mudah pengalirannya.
2. Pompa difusi dilepaskan dari sistem.
3. Lepaskan: *guard ring*, pegas penahan & *top jet cap*.
4. Lepaskan rangkaian pemancar atau *jet assembly*, & bagian lainnya.

Pembersihan (*Cleaning*)

1. Bersihkan bagian dlm pompa, bagian-bagian dari rangkaian *jet* (pemancar), *backing spout*.
Gunakan larutan pembersih: benzena (untuk minyak Apiezon-C) atau trichloreothylene (untuk minyak Silicone).
2. Bersihkan bekas larutan pembersih menggunakan acetone.
3. Bebaskan bekas acetone dari semua bagian dgn cara pemanasan pd suhu sekitar 75⁰ C

Perakitan kembali (*Re-assembly*)

1. Pasang rangkaian *jet*, hadapkan lubang keluarannya (*ejector jet*) lurus dgn *backing tube* atau saluran ke pompa rotary.
2. Pasanglah tingkat kedua dan tingkat pertama dari rangkaian *jet*, dengan posisi yg benar.
3. Pasang *top stage chimney* (corong atas) shg posisinya pas, kecangkan baut pengikat shg posisinya kembali penuh pada dudukannya.
4. Posisikan rangkaian *jet* hrs tepat dgn cara menggerak-gerakan sedikit beberapa kali utk menepatkan posisi dudukannya.
5. Pasang *top jet cap* (tutup *jet* atas) & *retaining spring* (pegas penahan).
6. Pasang *guard ring*, tepatkan shg *centring pin* dlm *top jet cap* tepat pd lubang bagian atas dari *guard ring*. Pastikan jarak *clamping ring* dgn plendes/flens atas merata.
7. Pastikan plendes & *O-ring* bersih serta tdk rusak utk dipasang.
8. Isikan minyak baru, instalasikan ke sistem & pompa rotary.

Perlakuan Komponen-komponen Sistem Vakum

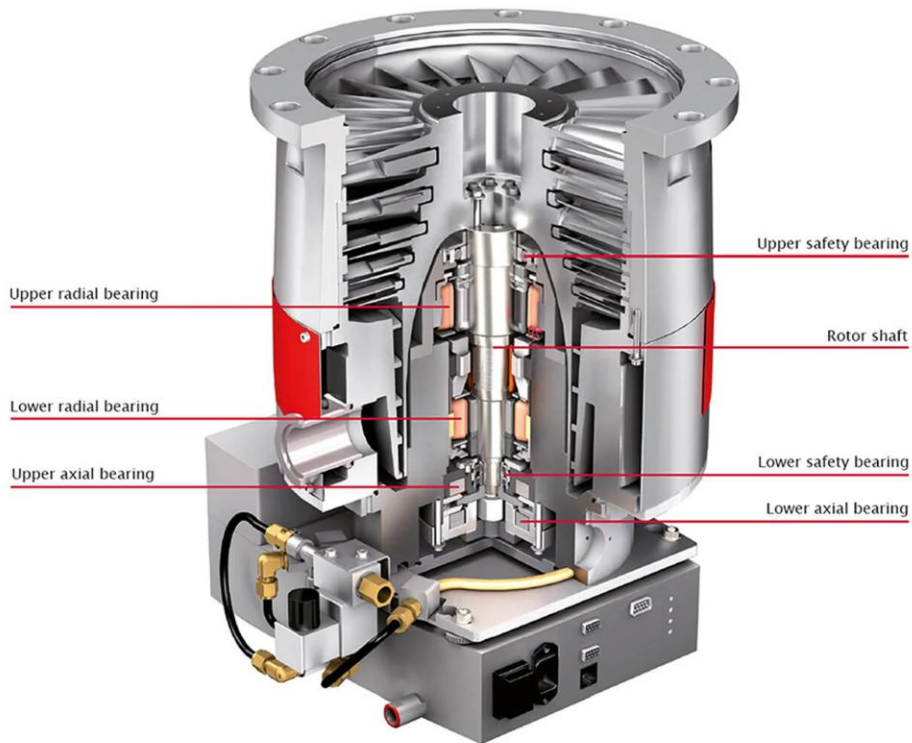
PENCUCIAN

- Bahan pencuci tergantung dari bahan komponen dan pengotor

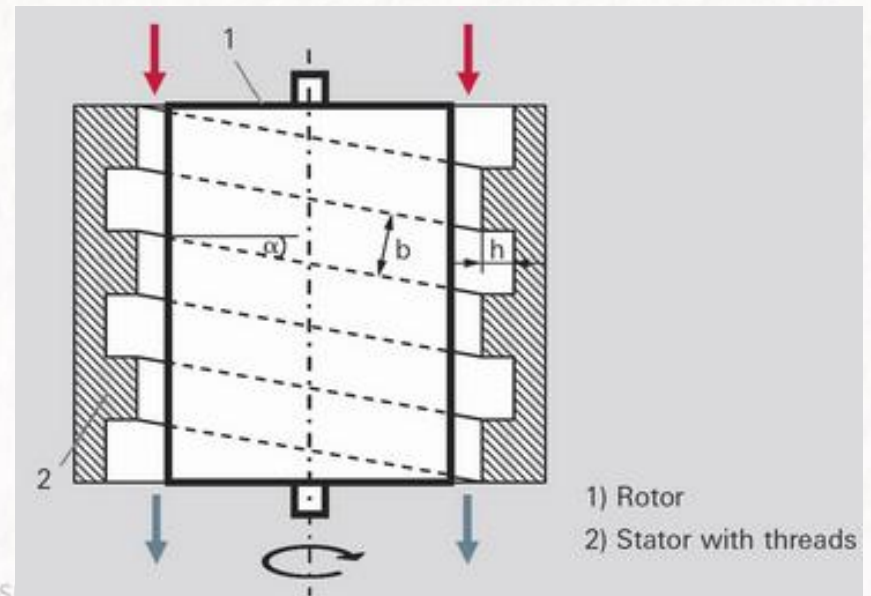
PEMANASAN

- Pemanasan dilakukan di dalam ruang vakum dengan tingkat kevakuman sekitar 10^{-6} torr pada suhu antara 200°C s/d. 500°C sesuai dengan bahan komponen-komponen sistem vakum
 - ✓ untuk logam dan kaca antara 400°C s/d. 500°C
 - ✓ untuk *viton* sekitar 200°C
- Waktu pemanasan sekitar 30 jam shg laju pelepasan gas $5 \cdot 10^{-13}$ Torr lt/dt/cm² untuk SS 316 l
- Setelah pemanasan, dilakukan penyimpanan di dalam gas nitrogen dan instalasi dilakukan secepatnya

Pompa Turbo



Selongsong silinder (1) yang berputar di sekitar saluran heliks di stator (2) digunakan sebagai tahap Holweck. Partikel gas dipindahkan diangkut ke luar rotor melalui saluran stator dan kemudian ke dalam rotor melalui saluran stator lebih lanjut hingga mereka disalurkan kembali ke pompa pendukung melalui saluran pengumpul. Beberapa turbopump modern memiliki beberapa tahap Holweck.



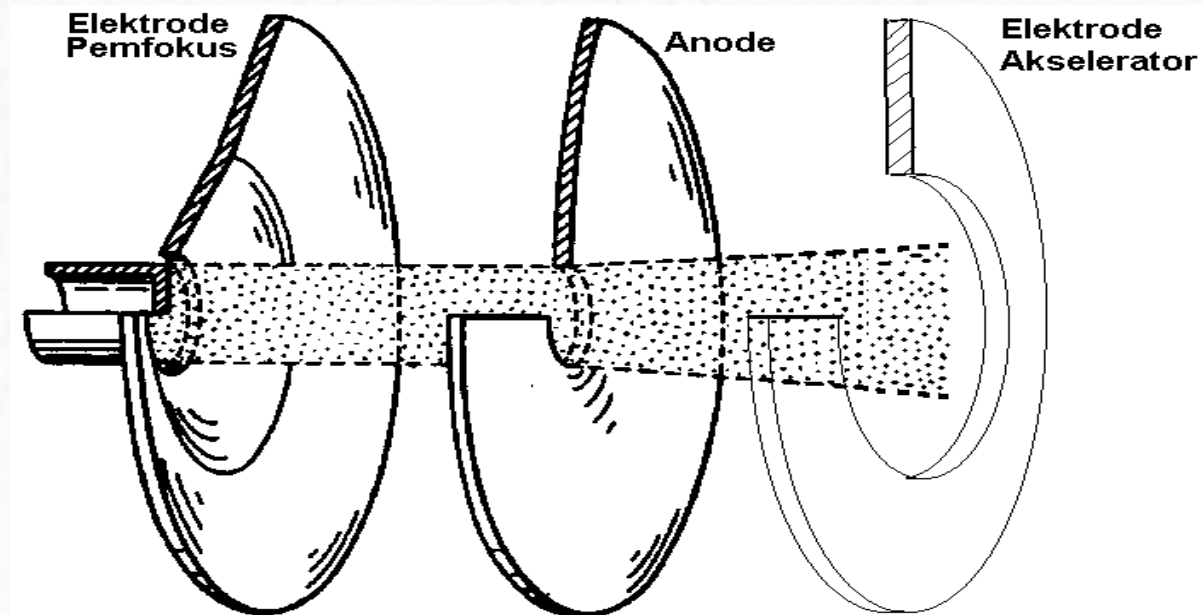
6

PERAWATAN SISTEM OPTIK DAN PEMAYAR

Sistem Pemfokus ada 2 (dua) jenis:

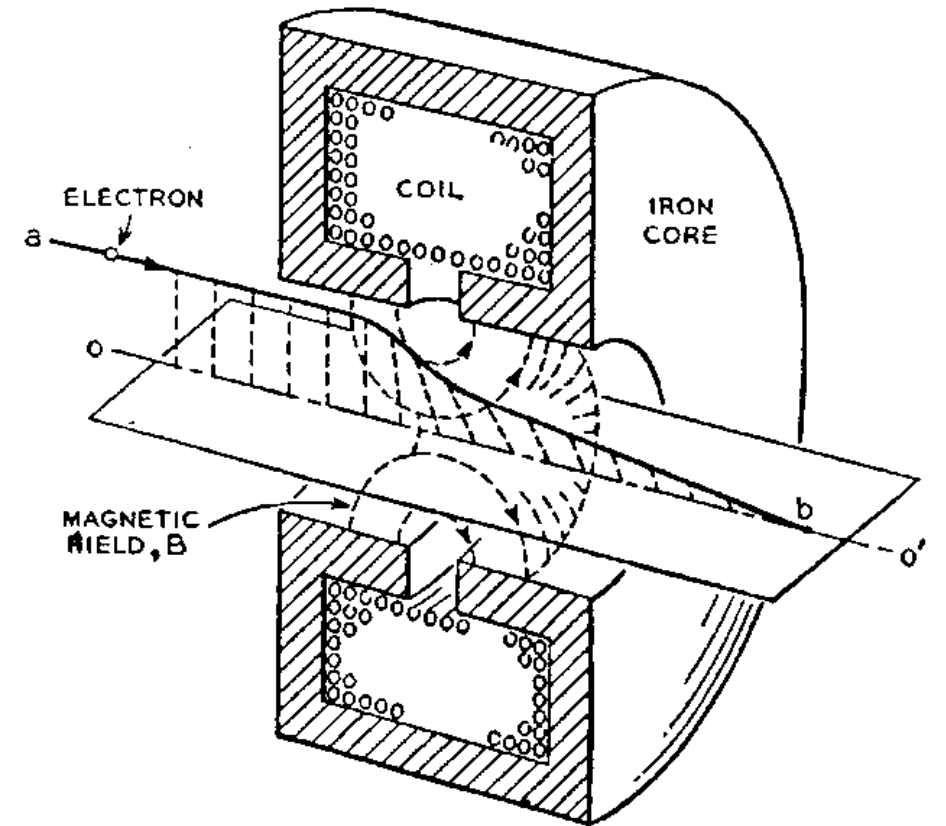
- (1). Sistem pemfokus elektrostatik yaitu pemfokusan menggunakan medan listrik,
- (2). Sistem pemfokus elektromagnetik yaitu pemfokusan menggunakan medan magnet.

Sistem pemfokus elektrostatik sebagai contoh penerapannya utk pembentukan berkas elektron dari sumber elektron yaitu utk mengekstraksi & memfokuskan berkas elektron dari sumber elektron & dimasukkan ke tabung akselerator utk dipercepat. Efek pemfokusan sangat tergantung dgn sudut elektrode pemfokus & tegangan yg terpasang

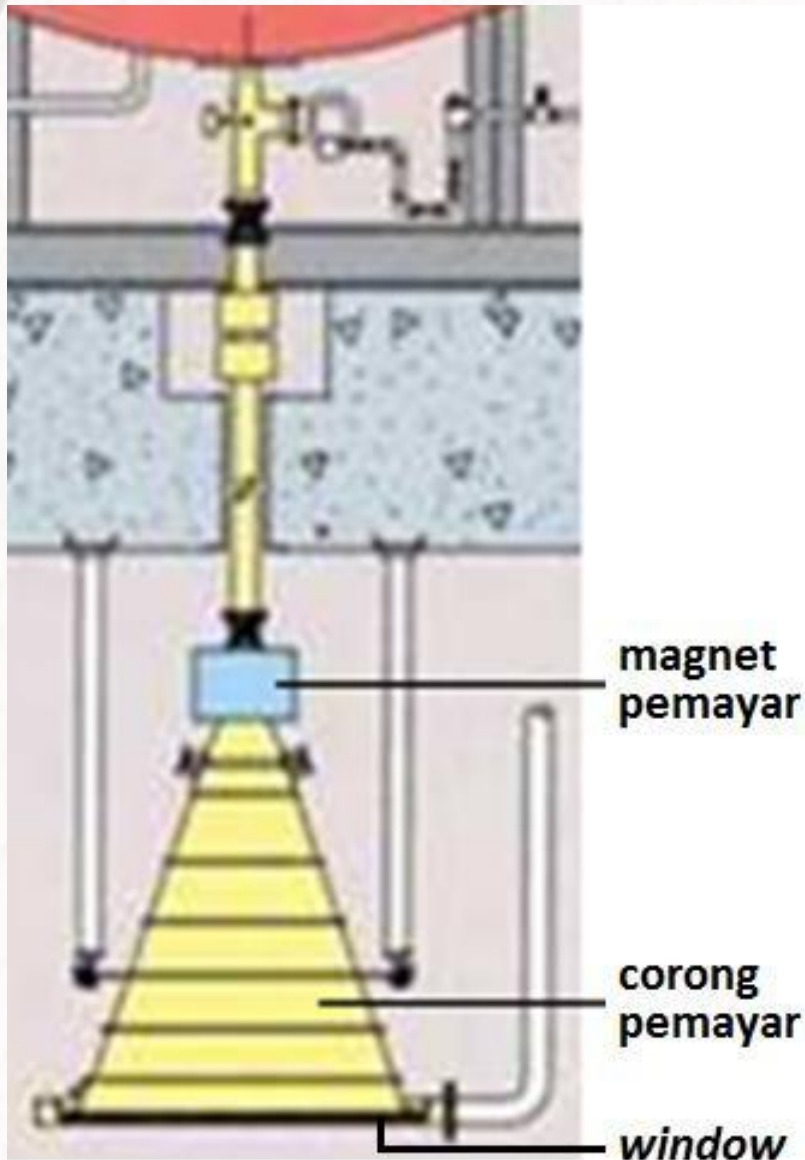


Sistem Pemfokus

Sistem pemfokus elektromagnetis sebagai contoh penerapannya untuk memfokuskan berkas partikel (elektron atau ion) di dalam tabung hanyut (drift tube), biasanya berkas partikel tersebut setelah dipercepat. Efek pemfokusan sangat tergantung dengan kuat medan magnet yang terpasang.



Sistem Pemayar



Sistem pemayar terdiri dari: **magnet pemayar** dan **corong pemayar**, serta digunakan untuk akselerator elektron (misalnya: Mesin Berkas Elektron, *Linear Accelerator* dan Rhodroton)

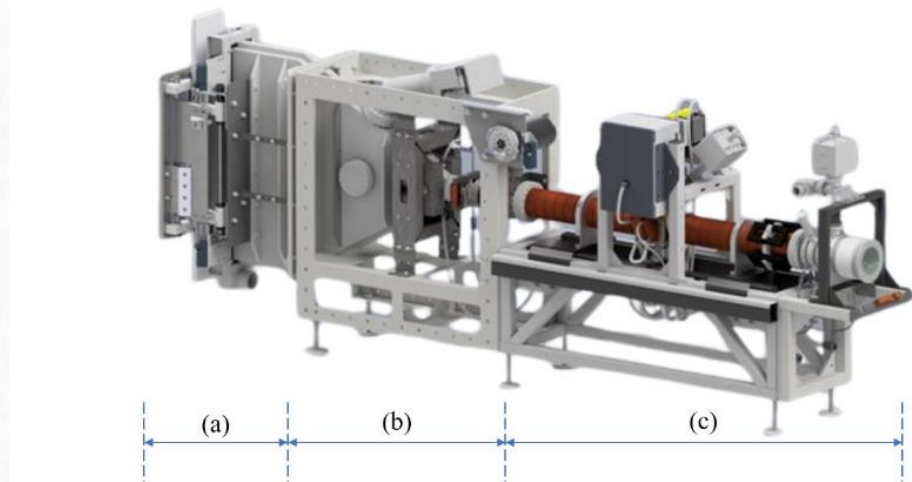
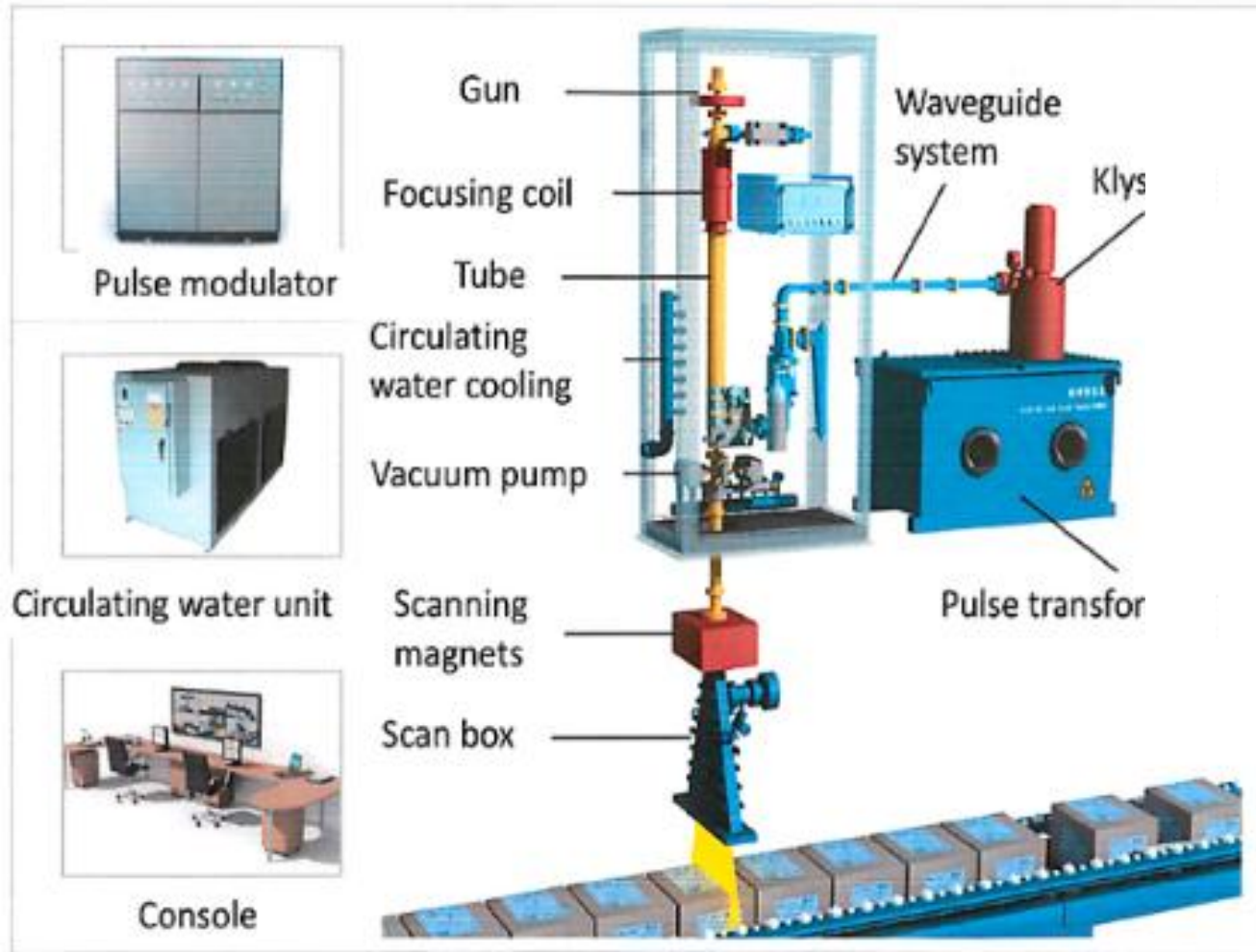
Magnet pemayar: untuk menyimpangkan berkas elektron sedemikian rupa sehingga berkas elektron dapat mengenai seluruh permukaan material yang diiradiasi sesuai ukuran cendela (*window*).

Corong pemayar & window, corong pemayar: berfungsi seperti tabung hanyut (*drift tube*) yaitu ruangan vakum yg dilintasi berkas elektron yang telah dimayarkan (disimpangkan) sedemikian rupa sehingga berkas elektron dpt mengenai seluruh permukaan material yg diiradiasi sesuai ukuran cendela (*window*). Adapun **window** dikonstruksi pd bagian bawah pemayar, biasanya dibuat dari titanium foil & berfungsi utk pembatas tekanan atmosfir & vakum serta sbg tempat utk keluarnya berkas elektron menuju target.

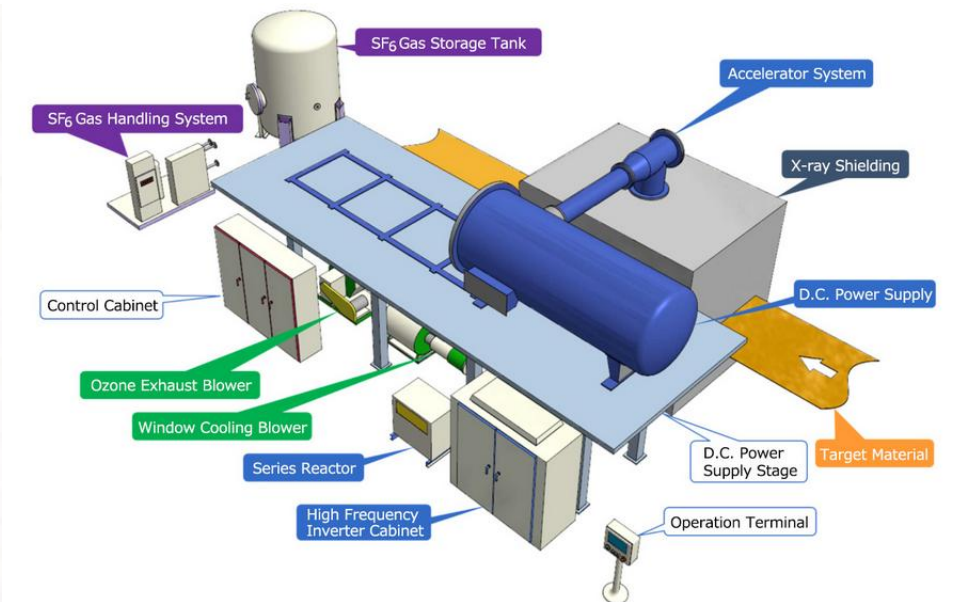
7

Elektron Linear Accelerator (LINAC)

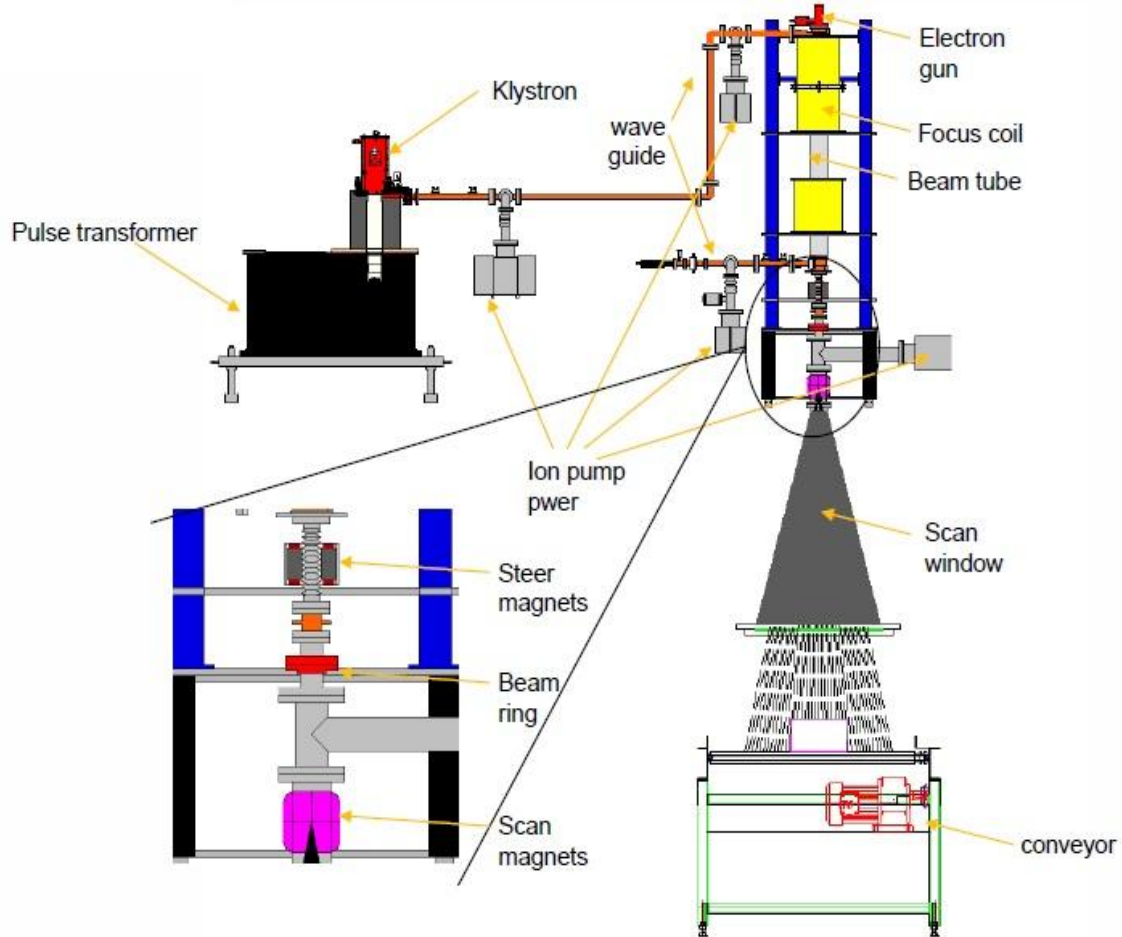
Electron Linac



. System integrator (linac) for sterilization systems by Mevex with (a): irradiated horn; (b): collimator and (c): accelerator tube.



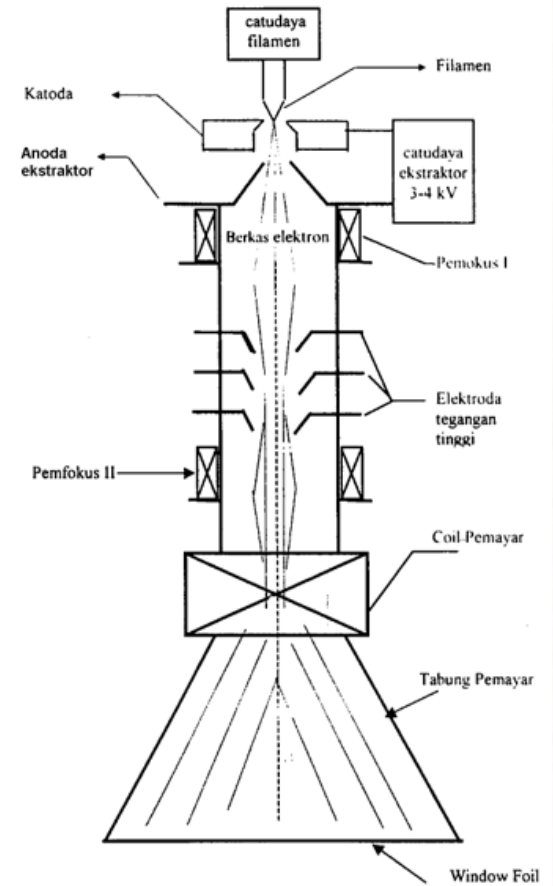
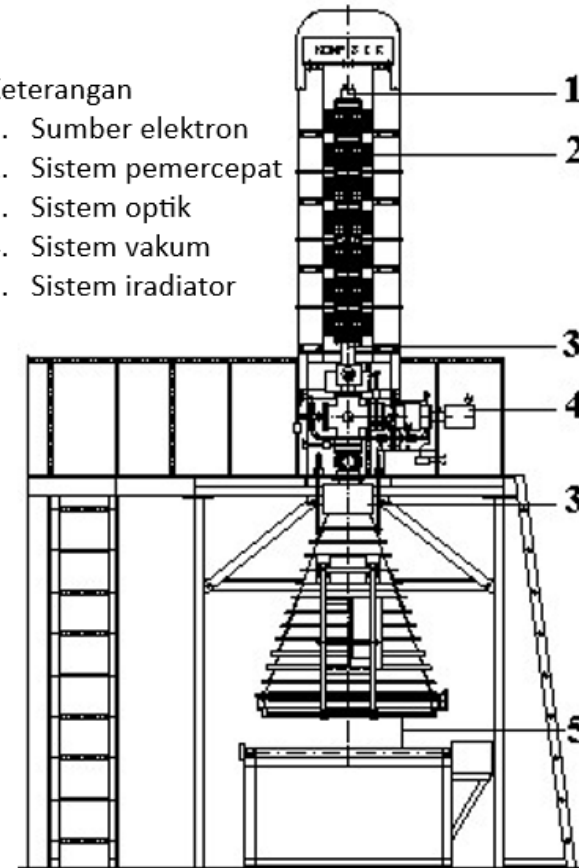
Mesin Berkas Elektron RF



Mesin Berkas Elektron PRTA

Keterangan

1. Sumber elektron
2. Sistem pemercepat
3. Sistem optik
4. Sistem vakum
5. Sistem iradiator



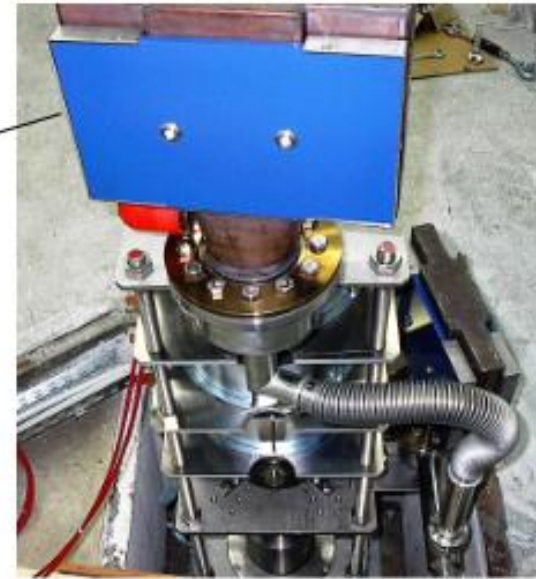
VACUUM SYSTEM

Fore-
vacuum
pump

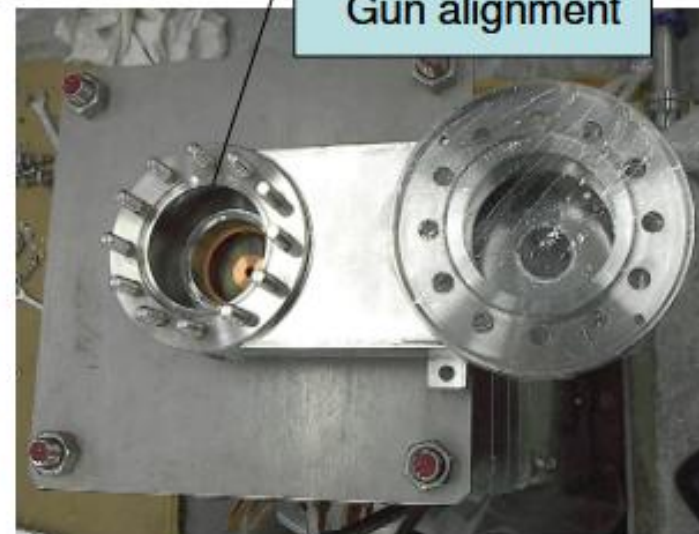
Ion pump



Ion pump



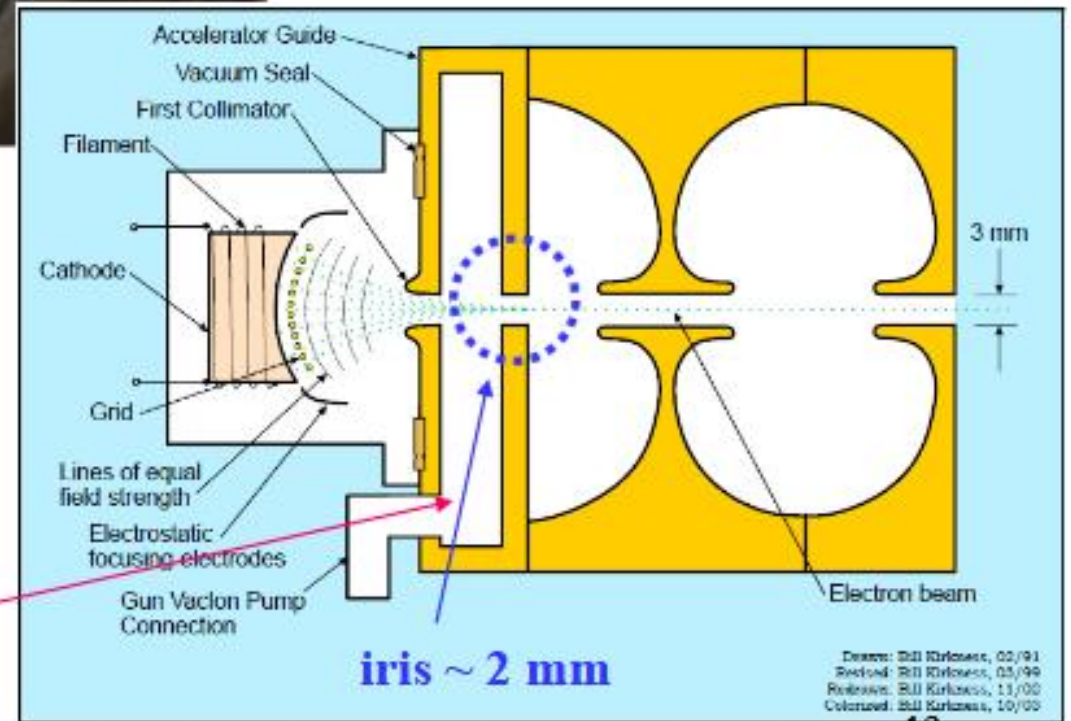
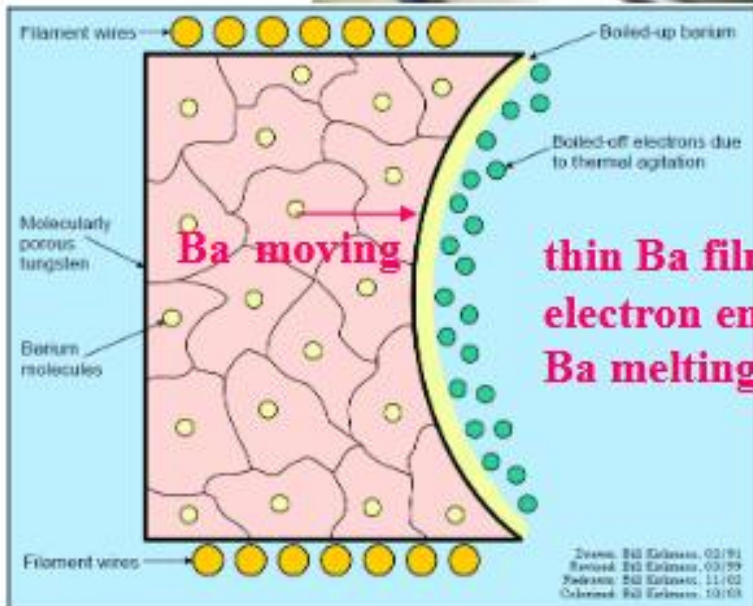
Gun alignment

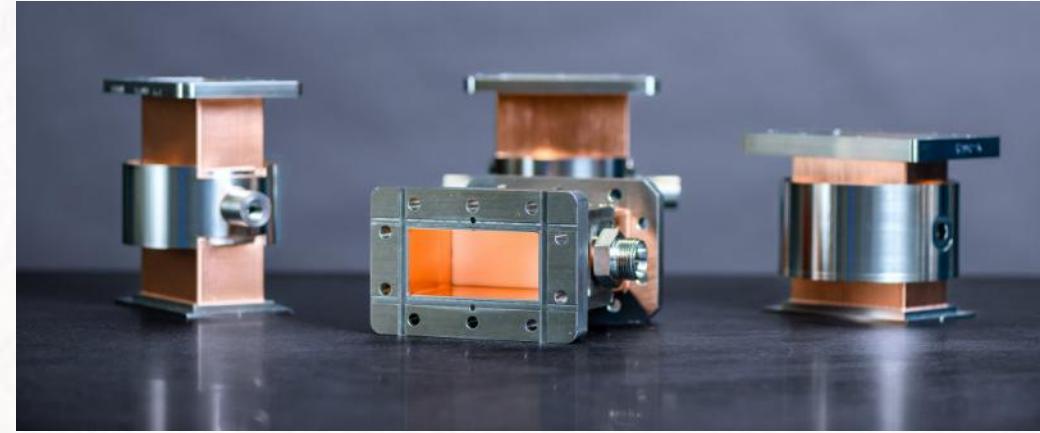
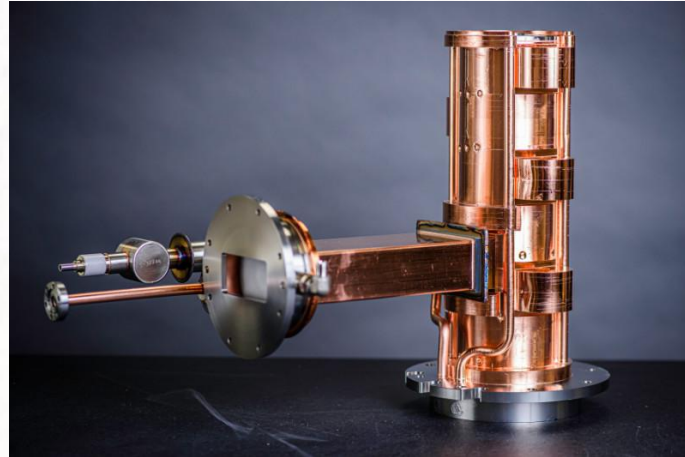
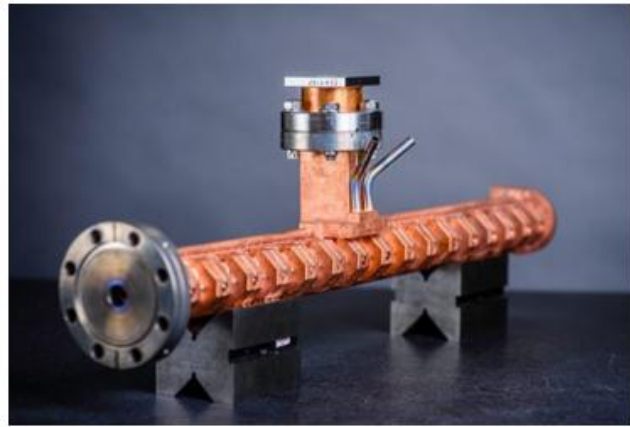




Gun for Varian Medical Lianc

- **Cathode : W+Ba dispenser cathode**
- **Working Temperature : 600 - 700°C**
- **Max DC Gap Voltage ~ 20 kV**
- **Max Gun Gradient ~ 1 MV/m**
- **Cathode Diameter : ~ 11 mm**
- **Beam Energy at Gun Exit ~ 20 keV**
- **Price ~ \$14,000 (brand-new)**





Operating Frequency (GHz)	Band	Maximum Average Power (kW)*	Maximum Peak Power (MW)	Maximum VSWR	Maximum Insertion Loss (dB)	Max Pressure (psig)
1.30	L	75	20	1.10	0.1	30
2.856/ 2.998	S	36	20	1.10	0.1	30
2.998	S	10	20	1.15	0.1	30
9.30	X/H	2	2	1.10	0.1	30

Windows are impedance matched to minimize reflection and achieve low insertion loss and excellent VSWR. *Operating RF Window assemblies at maximum average power conditions may require liquid cooling. Altair Engineering can provide thermal simulation services if needed.

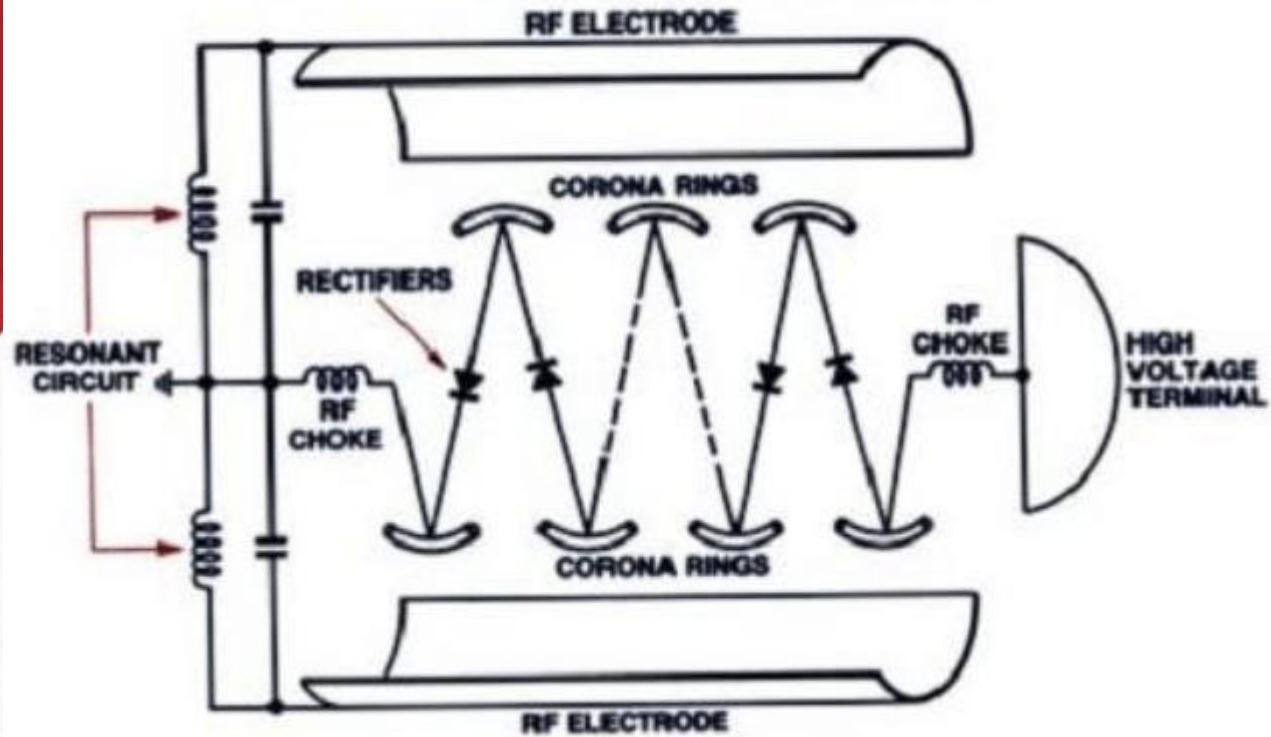
8

DYNAMITRON dan Van de Graaft

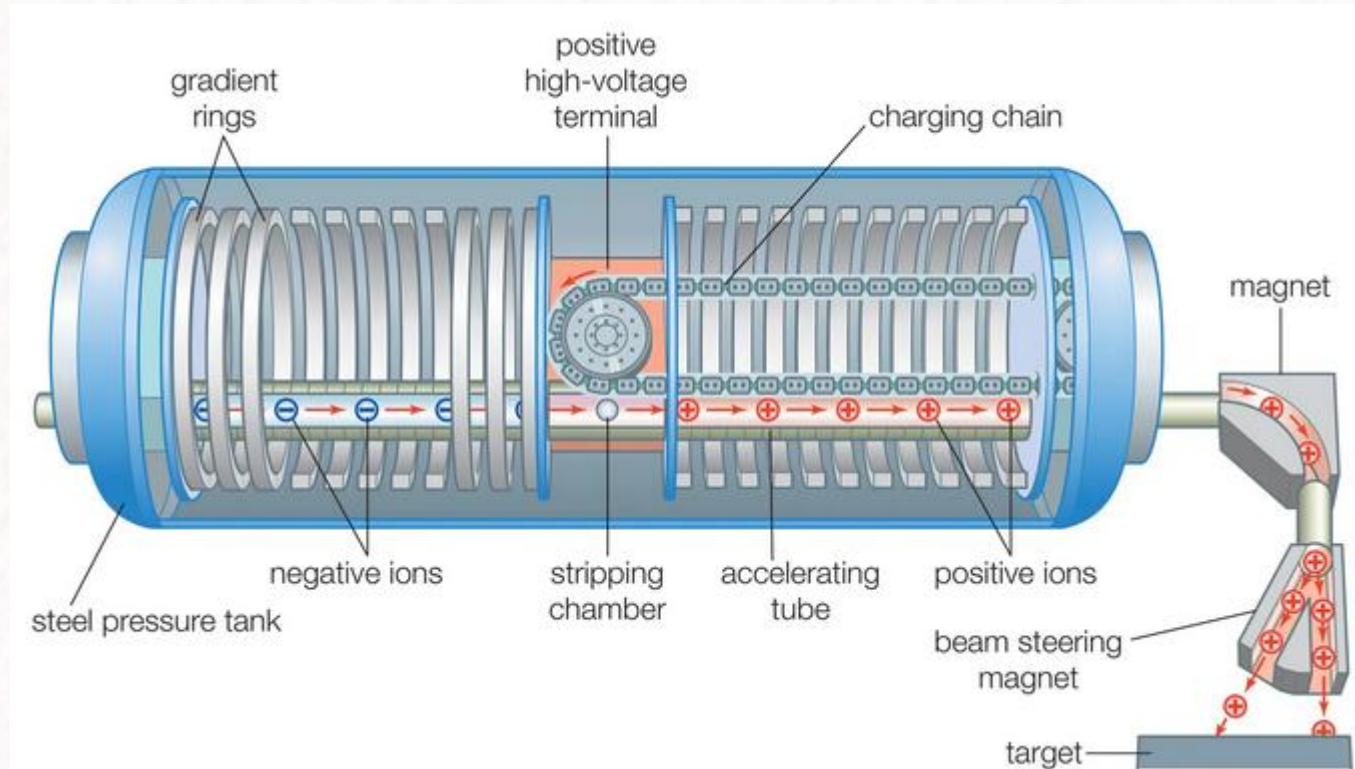
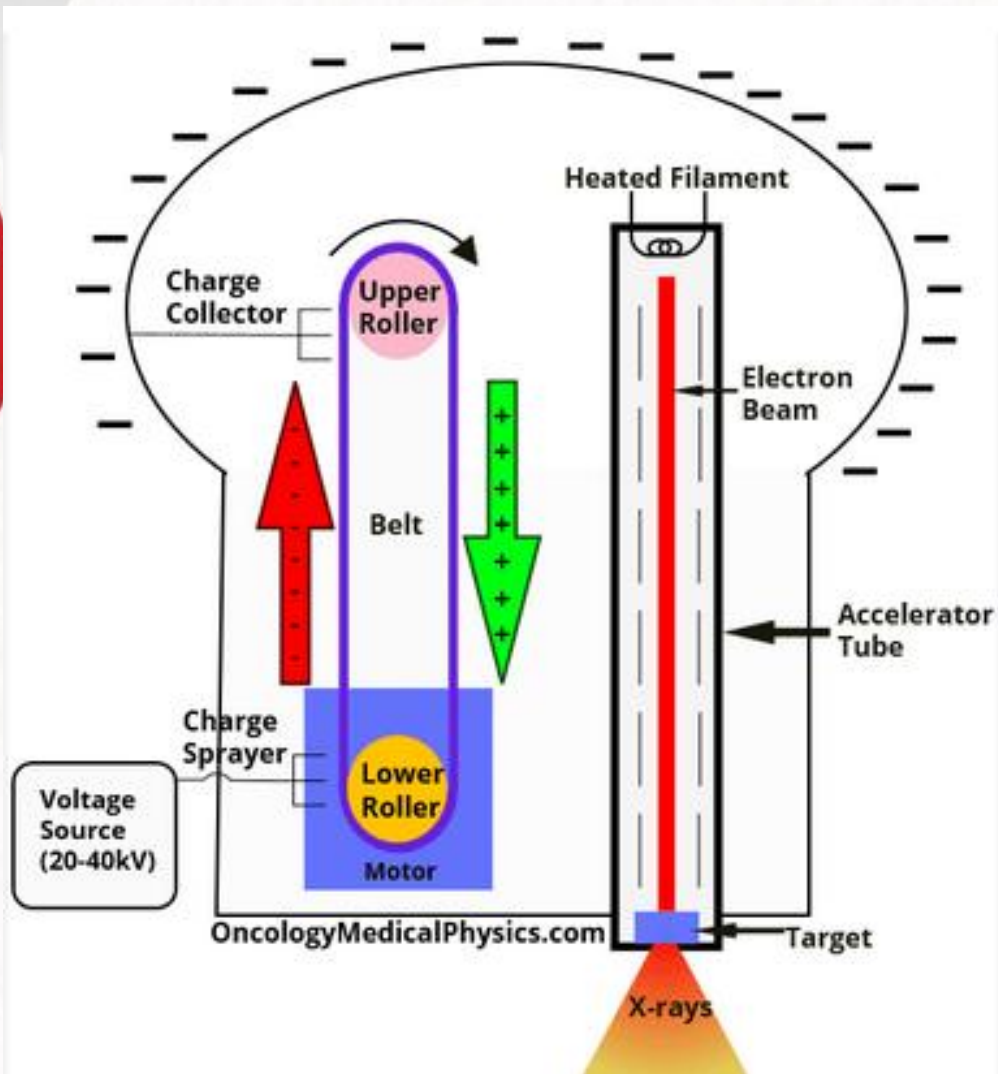


Dynamitron

DYNAMITRON CASCADE CIRCUIT



Van De Graaff



Fitur	Dynamitron	Cockcroft-Walton	Van de Graaff
Prinsip Kerja	Menggunakan AC frekuensi tinggi, dioda, dan kapasitor	Jaringan kapasitor dan dioda untuk menggandakan tegangan	Sabuk bergerak mengumpulkan dan mentransfer muatan ke terminal bola
Teknologi	Lebih kompleks dengan elemen aktif (AC, dioda, kapasitor)	Menggunakan rangkaian pasif (kapasitor, dioda)	Menggunakan sistem mekanik (sabuk, bola)
Tegangan yang Dihasilkan	Tegangan tinggi, sering dalam kisaran megavolt	Tegangan tinggi, biasanya ratusan kilovolt hingga megavolt	Tegangan tinggi, biasanya megavolt, tapi dengan arus rendah
Aplikasi Utama	Fisika partikel, medis (pengobatan kanker)	Akselerator partikel, eksperimen fisika	Eksperimen fisika, mesin sinar-X, pendidikan

9

RANGKUMAN

RANGKUMAN PERAWATAN KOMPONEN IRADIATOR (AKSELERATOR)

Perawatan komponen iradiator (akselerator) meliputi:

1. Perawatan mencakup komponen- komponen atau bagian-bagian dari akselerator diantaranya: sumber elektron, sistem pemercepat (tabung pemercepat & STT, sistem vakum (komponen-komponen terkait sistem vakum dan pompa vakum).
2. Perawatan sumber elektron, mencakup: pembersihan flens, penggantian filamen, pengecekan & pembenahan catu daya filamen dan catu daya anoda.
3. Perawatan sistem pemercepat mencakup: tabung akselerator & STT sebagai tegangan pemercepat (generator Cockrof-Walton).

RANGKUMAN PERAWATAN KOMPONEN IRADIATOR (AKSELERATOR)

4. Perawatan generator Cockroft-Walton meliputi perawatan osilator lengkap dgn catu dayanya & pelipat tegangan lengkap dgn cincin korona & elektroda keluaran.
5. Perawatan generator Felici terutama pada pembersihan komponen-komponennya & pengisian kembali gas H₂.
6. Perawatan sistem vakum meliputi: penggantian minyak yaitu minyak pelumas utk pompa rotary & minyak difusi utk pompa difusi, pembersihan & perlakuan komponen-komponen vakum misalnya O-ring, pembersihan komponen-komponen dari pompa vakum.
7. Dari perawatan tsb dilanjutkan dgn uji coba

Game Wayground 2

Terima Kasih

Atas Perhatian Anda



B.J. Habibie Building
Jl. M.H. Thamrin 8, Jakarta 10340, Indonesia



www.brin.go.id



Brin Indonesia



@brin_indonesia



@brin.indonesia



Bridging Sciences
Empowering Talents

@dpk brin