

**PERHITUNGAN WAKTU HISAP POMPA VAKUM  
UNTUK START UP PADA KONDISI IDEAL  
PADA AKSELERATOR ELEKTRON ENERGI TINGGI PRFN**

Iwan Roswandi, Rahmat, Tanti Ardiyati, Ari Satmoko.  
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional  
Kawasan Puspiptek Gedung 71 Lantai 2, Serpong, 15314  
Email: [iwanroswandi@batan.go.id](mailto:iwanroswandi@batan.go.id), [rahmat@batan.go.id](mailto:rahmat@batan.go.id), [tantiardiyati@batan.go.id](mailto:tantiardiyati@batan.go.id),  
[satmoko@batan.go.id](mailto:satmoko@batan.go.id).

**ABSTRAK**

*PERHITUNGAN WAKTU HISAP POMPA VAKUM UNTUK START UP PADA KONDISI IDEAL PADA AKSELERATOR ELEKTRON ENERGI TINGGI PRFN. Makalah ini bertujuan untuk melakukan desain awal sistem vakum pada akselerator elektron energi tinggi PRFN, dengan melakukan perhitungan waktu hisap pompa vakum untuk start up pada kondisi ideal, sehingga dapat mendukung operasi pada sistem AEET. Hasil pemvakuman pada akselerator elektron ini berfungsi untuk memudahkan elektron yang dihasilkan dari sumber elektron menuju produk yang akan diiradiasi. Desain sistem vakum akselerator elektron pada penelitian ini menggunakan dua buah pompa, yaitu pompa rotari dan pompa turbomolekuler. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pompa rotari memerlukan waktu 15 menit 32 detik dan pompa turbomolekuler memerlukan waktu 22 detik untuk start up pemvakuman. Sehingga waktu hisap keseluruhan yang dibutuhkan untuk menghampakan ruang akselerator elektron adalah 15 menit 54 detik. Desain awal sistem vakum akselerator elektron yang telah dibuat diharapkan dapat menjadi acuan dalam pembuatan prototipe akselerator elektron energi tinggi di PRFN selanjutnya.*

*Kata kunci: akselerator electron, sistem vakum, pompa rotari, pompa turbomolekulerer, waktu hisap.*

**ABSTRACT**

*A CALCULATION OF SUCTION TIME IN VACUUM PUMP TO START UP ON IDEAL CONDITIONS FOR PRFN HIGH ELECTRONIC ENERGY ACCELERATOR. This paper aims to perform the initial design of a vacuum system in PRFN high-energy electron accelerator, by calculating the pump suction time to start up at ideal conditions, so that it can operate on the AEET system. The results of vacuuming on this electron accelerator serve to facilitate electrons generated from the electron source to the product to be irradiated. The design of the electron accelerator vacuum system in this study uses two pumps, namely rotary pumps and turbomolecular pumps. The calculation results showed that the rotary pump takes 15 minutes 32 seconds and the turbomolecular pump takes 22 seconds for vacuum start up. So that the overall suction time needed to empty the electron accelerator vacuum chamber from any particles is 15 minutes 54 seconds. The initial design of the electron accelerator vacuum system that has been made is expected to be a reference in the manufacture of high energy electron accelerator prototypes in the next future.*

*Keywords: electron accelerator, vacuum system, rotary pump, turbomolecular pump, suction time*

**1. PENDAHULUAN**

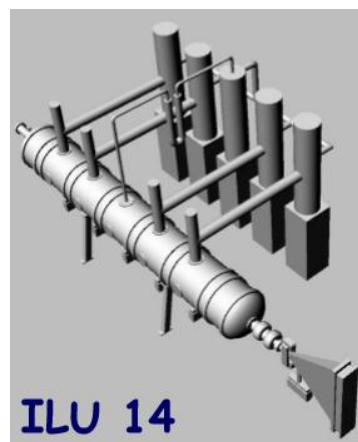
Kebutuhan akan teknologi yang dapat membantu menyelesaikan permasalahan manusia yang ada saat ini sangatlah tinggi. Teknologi nuklir merupakan salah satu solusi dalam membantu penyelesaian masalah – masalah tersebut, salah satunya

adalah akselerator. Akselerator bekerja dengan memanfaatkan tegangan tinggi untuk menghasilkan partikel bermuatan berkecepatan tinggi dengan rentang energi yang bervariasi dari beberapa electronvolt (eV) hingga satu teraelectronvolt (1000 billion eV)<sup>[1]</sup>. Akselerator dapat digunakan untuk sterilisasi bahan pangan dan makanan, sterilisasi alat kesehatan, produksi radioisotope, dll.

Akselerator tipe ILU banyak digunakan untuk keperluan industri dengan rentang energi dari 0,7 sampai 5 MeV dan kuat penyinaran hingga 50 kW. Tipe ILU banyak digunakan di industri karena waktu operasional yang handal dengan kondisi industri, mudah perawatannya, dan memiliki desain yang sederhana<sup>[2]</sup>.

Akselerator ILU-14 merupakan akselerator tipe ILU terbaru yang memiliki rentang energy paling tinggi dari tipe ILU lain, yaitu 7 sampai 10 MeV, kuat penyinaran maksimum hingga 100 kW. ILU-14 memiliki struktur modular; *standing-wave multicavity* frekuensi rendah untuk mempercepat elektron, triode RF gun sebagai sumber elektron, dan oscillator dua fase sebagai penstabil frekuensi<sup>[3]</sup>.

Perangkat akselerator elektron energi tinggi (AEET) yang dibahas dalam penelitian ini memiliki beberapa bagian, diantaranya adalah sistem vakum yang mengacu pada ILU-14 seperti digambarkan pada **Gambar 1**. Sistem vakum merupakan bagian utama dari AEET yang bertujuan untuk menghampakan ruang vakum pada akselerator elektron. Hasil pemvakuman akan mempermudah jalannya elektron yang dihasilkan dari sumber elektron menuju pemayar kemudian ke produk yang akan diiradiasi. Proses pemvakuman merupakan proses yang paling penting pada akselerator elektron, berguna supaya elektron yang ada pada ruang vakum tidak saling bertabrakan dan hilang sebelum mengenai produk yang akan diiradiasi<sup>[4]</sup>. Maka dari itulah desain sistem vakum untuk akselerator elektron harus bekerja dengan baik dan handal, sehingga dapat mendukung operasi pada sistem AEET.

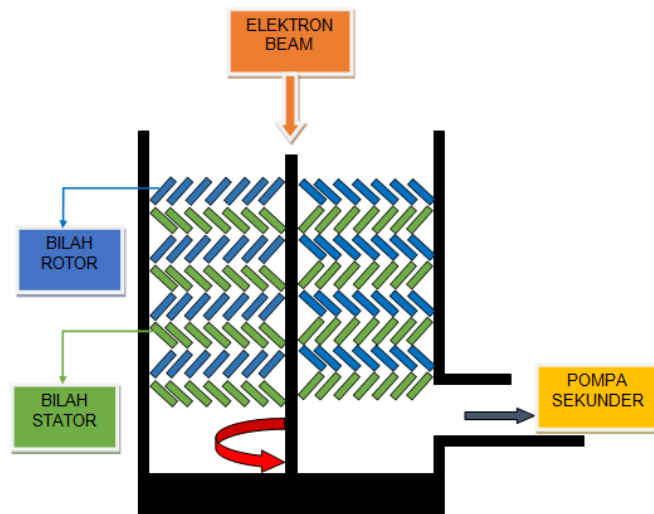


Gambar 1. Akselerator elektron beam ILU 14<sup>[5]</sup>.

Kondisi vakum didefinisikan sebagai ruang yang berisi gas dan memiliki tekanan kurang dari 760 torr atau 1 standar atmosfer sesuai dengan definisi dari *American Vacuum Society*<sup>[6]</sup>. Kondisi vakum sempurna atau absolut, dimana ruangan tersebut tidak berisi materi sama sekali sangat mustahil untuk direalisasikan<sup>[6]</sup>. Sistem vakum bekerja dengan cara menyedot materi atau ion-ion yang ada di dalam ruang vakum keluar sehingga tekanannya kurang dari 1 atmosfer. Untuk dapat menyedot ion-ion tersebut maka diperlukanlah pompa-pompa, diantaranya pompa turbomolekuler dan pompa rotari.

Pompa rotari bertindak sebagai pompa primer / utama sedangkan pompa turbomolekuler sebagai pompa sekunder. Pada prinsipnya, pompa turbomolekuler adalah turbin yang berputar cepat di dalam rumah pompa di mana rotor stage pada turbin dilengkapi dengan sejumlah bilah rotor seperti terlihat pada **Gambar 2**. Terletak

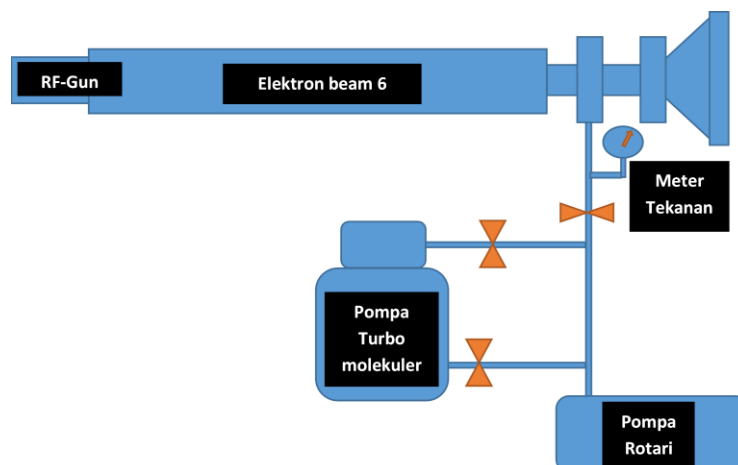
di antara bilah rotor yang berputar adalah stator disk stasioner dengan bilah yang diatur dalam arah berlawanan. Dengan bantuan transfer momentum dari bilah rotor berputar ke molekul gas, gerakan termal *non-directional* awal, berubah menjadi gerakan terarah dari *flange inlet* pompa ke arah aksial ke arah *flange forevakum*. Dalam rentang aliran molekul (yaitu pada tekanan di bawah  $10^{-3}$  mbar ( $0,75 \times 10^{-3}$  Torr) jalur bebas molekul gas lebih besar dari pada jarak antara rotor dan bilah stator (sepersepuluh milimeter). Secara bersamaan molekul bertabrakan dengan bilah rotor optik padat, menghasilkan aksi memompa yang sangat efisien. Dalam rentang aliran laminar (yaitu pada tekanan lebih dari  $10^{-1}$  mbar ( $0,75 \times 10^{-1}$  Torr) efek rotor terganggu oleh tabrakan yang sering terjadi antara molekul itu sendiri. Untuk alasan ini, pompa turbomolekuler tidak mampu memompa gas pada tekanan atmosfer<sup>[7]</sup> dan diposisikan sebagai pompa sekunder.



Gambar 2. Ilustrasi bagian dalam pompa turbomolekuler.

Makalah ini dibuat untuk melakukan desain awal sistem vakum pada AEET PRFN dengan melakukan perhitungan waktu hisap pompa vakum untuk start up pada kondisi ideal, sehingga dapat mendukung operasi pada sistem AEET.

## 2. METODOLOGI



Gambar 3. Blok skema sistem vakum untuk AEET.

Pada penelitian ini, skema sistem vakum pada AEET mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Darsono et al dan V. V Beguzlov et al<sup>[5, 8]</sup>. Pada Gambar 3 dibawah ini, terdapat elektron beam berdimensi panjang 5390 mm dan berdiameter 700 mm yang diasumsikan<sup>[5]</sup> sebagai tabung, sehingga volume ruang hampa adalah 2,07432 m<sup>3</sup>. Terdapat juga dua buah pompa, pompa turbomolekuler dan pompa rotari.

Perhitungan diperlukan untuk mengetahui waktu hisap pompa untuk start up. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut<sup>[6]</sup>:

$$t_1 = \frac{V}{q} \ln \frac{P_0}{P_1} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dimana V adalah volume ruang hampa, q adalah volume flow rate daya hisap pompa rotari, dan P<sub>0</sub> adalah tekanan awal sedangkan P<sub>1</sub> adalah tekanan akhir. Proses pemvakuman terdiri dari 2 tahap: pompa rotari untuk menurunkan tekanan dari tekanan awal sebesar 1 atm menjadi tekanan antara, dan pompa turbo molekuler untuk menurunkan dari tekana antara hingga tekanan akhir yang diinginkan. Total waktu yang dibutuhkan untuk menghampakan ruang adalah penjumlahan dari waktu kerja pompa rotari dan pompa turbomolekuler.

### 3. TATA KERJA

Makalah ini membahas desain awal sistem vakum pada akselerator elektron energi tinggi PRFN. Kegiatan dilakukan dengan cara *mempelajari literature* sebagai acuan terkait sistem pemvakuman berkas elektron. Selanjutnya dilakukan perhitungan waktu hisap pompa-pompa yang digunakan. Perancangan desain sistem vakum ini diharapkan dapat mendukung operasi pada sistem AEET.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memvakumkan ruang vakum pada akselerator elektron dalam kondisi ideal (kondisi sempurna tidak ada kebocoran) dibutuhkan tekanan sebesar 10<sup>-7</sup> torr. Dalam proses pemvakuman ini membutuhkan dua buah pompa yaitu pompa rotari yang bekerja sebagai pompa primer dan pompa turbomolekuler sebagai pompa sekunder. Pompa primer berfungsi memvakumkan awal ruang elektron beam pada tekanan 1 atm sampai dengan 10<sup>-3</sup> torr. Setelah tekanan mencapai 10<sup>-3</sup> torr terlihat pada indikatormeter tekanan selanjutnya pompa sekunder mulai beroperasi dan akan mencapai tekanan yang diinginkan yaitu sebesar 10<sup>-7</sup> torr pada indikator meter tekanan.

Hal-hal yang menjadi parameter dalam perhitungan t<sub>1</sub> antara lain adalah volume ruang vakum sebesar 2,07432 m<sup>3</sup>; flow rate pompa sebesar 90 m<sup>3</sup>/h; P<sub>0</sub> sebesar 1 atm sama dengan 1000 mbar (750,062 torr) dan P<sub>1</sub> Sebesar 10<sup>-3</sup> torr. Perhitungan untuk mengetahui nilai t<sub>2</sub> membutuhkan informasi antara lain, flow rate pompa untuk molekul N<sub>2</sub> sebesar 2400 L/s, flow rate pompa untuk molekul H<sub>2</sub> sebesar 1100 L/s dan flow rate pompa untuk molekul N<sub>2</sub> dengan menggunakan filter sebesar 2300 L/s, P<sub>1</sub> sebesar 10<sup>-3</sup> torr sedangkan P<sub>2</sub> sebesar 10<sup>-7</sup> torr. Pada perhitungan ini, kami menggunakan flow rate pompa untuk molekul N<sub>2</sub> sebesar 2400 L/s supaya molekul gas di dalam ruang vakum dapat terhisap semua. Perhitungan berdasarkan persamaan (1) didapat waktu pompa rotari beroperasi (t<sub>1</sub>) sebesar 15 menit 32 detik, dari persamaan (2) didapat waktu pompa turbomolekuler beroperasi (t<sub>2</sub>) sebesar 22 detik, dan dari persamaan (3) didapat waktu total pompa beroperasi untuk mencapai tekanan vakum yang diinginkan sebesar 10<sup>-7</sup> torr (t<sub>3</sub>) sebesar 15 menit 54 detik.

Waktu total pompa untuk beroperasi diperoleh dari keadaan yang ideal. Keadaan ideal adalah keadaan sempurna atau teoritis tanpa adanya perlakuan

hambatan. Perlakuan hambatan tersebut misalnya pemasangan komponen – komponen sistem vakum yang kurang pas (kebocoran), kualitas bahan mekanik yang digunakan untuk perangkat komponen kurang standar dan lain sebagainya. Total waktu berdasarkan perhitungan diatas didapat 15 menit 54 detik, sedangkan dalam penelitian V.V. Bezuglov et al<sup>[5]</sup> menyatakan bahwa setelah perakitan komponen dan struktur ILU-14 dibutuhkan waktu 6 jam untuk mencapai tingkat kevakuman  $10^{-7}$  torr. Dari pernyataan tersebut boleh dinyatakan bahwa desain sistem vakum AEET PRFN lebih singkat dari desain ILU-14 disebabkan oleh karena perhitungan sistem vakum AEET PRFN ini dalam kondisi ideal, dimana semua faktor penghambat tidak diperhitungkan seperti besar laju permeasi, besar laju pelepasan gas, dan besar laju kebocoran yang terjadi pada sambungan-sambungan.

## 5. KESIMPULAN

Dari pembahasan diatas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pompa primer yang digunakan adalah pompa rotari dengan daya hisap  $10^{-3}$  torr.
2. Pompa sekunder yang digunakan adalah pompa turbomolekul dengan daya hisap  $10^{-9}$  torr.
3. Waktu hisap pompa rotari adalah 15 menit 32 detik untuk mencapai kevakuman  $10^{-3}$  torr.
4. Waktu hisap pompa turbomolekul adalah 22 detik untuk mencapai kevakuman  $10^{-7}$  torr.
5. Total waktu yang dibutuhkan untuk memvakumkan adalah 15 menit 54 detik.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA, "IAEA Factsheet: The Multiple Benefits of Accelerator," no. May, 2017.
- [2] V. L. Auslander *et al.*, "Industrial Electron Accelerators Type ILU," no. 47, pp.165–167, 2006.
- [3] A. A. Bryazgin *et al.*, "ILU-14 Industrial Electron Linear Accelerator with a Modular Structure," vol. 54, no. 3, pp. 295–311, 2011.
- [4] Ari Satmoko, "Manual Program Prototipe Akselerator Elektron Energi Tinggi," 2018
- [5] V.V. Bezuglov et al, "Status of ILU-14 Electron Accelerator," in *Proceedings of RuPAC*, 2010.
- [6] H Dorothy M. Hoffman; Bawa Singh; John H. Thomas, *Handbook of Vacuum Science and Technology*. United States of America: Academic Press, 1998.
- [7] Leybold Full Line Catalog, "Catalog Part High Vacuum Pumps," 2016, p. 6.
- [8] Darsono; Suprpto; Djasiman, "Dasar Disain Sistem Vakum Mesin Berkas Elektron (MBE)," in *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya Vol.1 No.1*, 1999.