

ANALISIS DESAIN SUMBER ION TИPE MULTICUSP UNTUK SIKLOTRON 30 MeV

Oleh
Djoko Slamet Pudjorahardjo

Diajukan ke Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada pada 26 Januari 2026 untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh derajat Magister Program Studi Teknik Fisika

INTISARI

Sumber ion merupakan komponen penting dalam sistem injeksi siklotron yang menentukan kualitas dan intensitas berkas ion yang dipercepat. Untuk siklotron energi 30 MeV, dibutuhkan sumber ion yang mampu menghasilkan plasma stabil, arus ion memadai, serta keandalan operasi tinggi. Penelitian ini bertujuan menganalisis desain sumber ion tipe multicusp yang digerakkan oleh eksitasi radio frekuensi (RF) sebagai kandidat sumber ion untuk siklotron energi menengah.

Metodologi penelitian dilakukan melalui kajian teoretis dan analisis desain terhadap komponen utama, meliputi bejana plasma, sistem eksitasi RF, konfigurasi magnet multicusp, dan sistem ekstraksi ion. Bejana plasma dirancang berbentuk silinder dengan panjang 15 cm, diameter 10 cm, dan tebal 2–3 mm menggunakan material SS 316L, dilengkapi liner Cu-OFHC setebal 3–5 mm untuk meningkatkan konduktivitas dan pembuangan kalor, serta plasma-facing insert berbahan molibdenum/grafit dengan aperture \varnothing 4 mm. Pembangkitan plasma dilakukan menggunakan antena heliks eksternal enam lilitan dengan induktansi 2,87 μ H, resonansi LC 48 pF, dan frekuensi kerja 13,56 MHz, yang dipadukan dengan rangkaian penyesuaian impedansi tipe π (kapasitor variabel 5–500 pF dan induktor variabel 1–5 μ H) untuk memastikan transfer daya RF yang efisien.

Pengungkungan plasma dicapai melalui konfigurasi magnet multicusp dengan 16 pole radial, end-cup magnet masing-masing 8 pole di kedua ujung, serta 2 magnet filter di daerah ekstraksi ion. Magnet permanen NdFeB dengan remanensi 0,9–1,2 T terbukti efektif menahan elektron, meningkatkan densitas plasma, dan menjaga kestabilan plasma di volume tengah. Sistem ekstraksi ion dirancang dengan tiga elektroda: elektroda plasma berbahan molibdenum (aperture \varnothing 6 mm, tegangan –25 kV), elektroda ekstraksi stainless steel (–24,5 kV), dan elektroda ground stainless steel (0 V), yang menghasilkan medan ekstraksi stabil dan mendukung kualitas berkas ion awal.

Hasil analisis menunjukkan bahwa desain sumber ion multicusp tipe RF yang dikaji mampu mendukung pembentukan plasma stabil, meningkatkan kepadatan plasma, serta menghasilkan arus ion dan kualitas berkas awal yang sesuai untuk kebutuhan injeksi siklotron energi 30 MeV. Penelitian ini diharapkan menjadi dasar analisis dan referensi awal dalam pengembangan serta implementasi sumber ion multicusp tipe RF untuk aplikasi siklotron energi menengah.

Kata kunci: sumber ion, multicusp, radio frekuensi, siklotron

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Andang Widi Harto, M.T., IPU, ASEAN Eng.

Dosen Pembimbing II : Dr. Emy Mulyani, M.Sc.



ANALYSIS OF THE MULTICUSP TYPE ION SOURCE FOR 30 MeV CYCLOTRON

By

Djoko Slamet Pudjorahardjo

Submitted to the Department of Nuclear Engineering and Engineering Physics, Faculty of Engineering, Gadjah Mada University on January 26, 2026 to fulfill part of the requirements to obtain a Master's degree in Engineering Physics Study Program

ABSTRACT

Ion sources are critical components in cyclotron injection systems, determining the quality and intensity of the accelerated ion beam. For a 30 MeV cyclotron, an ion source must provide stable plasma, sufficient ion current, and high operational reliability. This study aims to analyze the design of a multicusp ion source driven by radio-frequency (RF) excitation as a candidate for medium-energy cyclotron applications.

The methodology involved theoretical studies and design analysis of the main components: plasma chamber, RF excitation system, multicusp magnetic configuration, and ion extraction system. The plasma chamber was designed as a cylindrical body with a length of 15 cm, diameter of 10 cm, and thickness of 2–3 mm, made of SS 316L. It is equipped with a Cu-OFHC liner (3–5 mm thick) to enhance electrical conductivity and heat dissipation, and a molybdenum/graphite plasma-facing insert with a 4 mm aperture. Plasma generation is achieved using an external helical antenna with six turns, inductance of 2.87 μH , LC resonance of 48 pF, and an operating frequency of 13.56 MHz, combined with a π -type impedance matching network (variable capacitors 5–500 pF and inductors 1–5 μH) to ensure efficient RF power transfer.

Plasma confinement is provided by a multicusp magnetic configuration consisting of 16 radial poles, 8 end-cup magnets at each end, and 2 filter magnets near the extraction region. Permanent NdFeB magnets with remanence of 0.9–1.2 T effectively confine electrons, increase plasma density, and maintain plasma stability. The ion extraction system employs three electrodes: a molybdenum plasma electrode (aperture \varnothing 6 mm, -25 kV), a stainless-steel extraction electrode (-24.5 kV), and a stainless-steel ground electrode (0 V), producing a stable extraction field and supporting high-quality initial ion beam formation.

The analysis demonstrates that the proposed RF multicusp ion source design can sustain stable plasma formation, enhance plasma density in the central volume, and deliver ion current and beam quality suitable for injection into a 30 MeV cyclotron. This research provides a foundation for further development and implementation of RF multicusp ion sources for medium-energy cyclotron applications.

Keywords: ion source, multicusp, radio frequency, cyclotron

Promotor : Prof. Dr. Ir. Andang Widi Harto, M.T., IPU, ASEAN Eng.

Co-Promotor : Dr. Emy Mulyani, M.Sc.

