

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan dasar yang mendukung berbagai aspek kehidupan manusia (Yaziz, 2015). Dalam konteks nasional, ketahanan energi menjadi isu strategis yang berpengaruh langsung terhadap kehidupan sosial dan keamanan nasional. Seiring meningkatnya kebutuhan energi, upaya untuk mengembangkan teknologi alternatif yang berkelanjutan dan efisien semakin mendesak (Boedoyo, 2007). Salah satu pendekatan inovatif yang dapat dilakukan yaitu pemanfaatan teknologi akselerator partikel. Teknologi ini memiliki potensi dalam mendukung ketahanan energi dengan kemampuan menghasilkan energi nuklir (*high energy*).

Akselerator partikel adalah suatu mesin untuk mempercepat partikel-partikel bermuatan, baik proton, elektron, maupun ion lainnya (Masril dan Yenni, 1999). Berdasarkan jalur lintasan partikel, akselerator ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu: akselerator dengan lintasan lurus dikenal sebagai akselerator linear (LINAC), dan akselerator dengan lintasan melingkar yaitu siklotron dan sinkrotron. Teknologi akselerator partikel memiliki peran yang penting dalam berbagai aspek, termasuk di sektor industri, kesehatan, lingkungan, serta dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi modern (Darsono, 2008). Oleh karena itu, pengembangan teknologi LINAC sangat relevan dalam konteks aplikasi inovatif untuk energi berkelanjutan yang dapat mendukung ketahanan energi nasional di Indonesia.

Akselerator linear (LINAC) adalah sebuah teknologi yang digunakan untuk mempercepat partikel bermuatan melalui lintasan linear dengan memanfaatkan medan elektromagnetik (Alesini, 2008). Struktur utama dari akselerator linear proton terdiri dari beberapa komponen penting, yaitu: sumber sumber ion (H^+), *Radio-Frequency Quadrupole* (RFQ), *Drift Tube Linac* (DTL), *Coupled-Cavity Drift Tube Linac* (CCDTL), dan *Coupled-Cavity*

Linac (CCL) (Algin *et al.*, 2011). Salah satu komponen utama yang memiliki peran vital dari LINAC adalah DTL yang berfungsi untuk mempercepat partikel proton menggunakan medan listrik yang berosilasi (Stoval, 2009). Dengan demikian, desain struktur DTL pada akselerator linear proton menjadi krusial untuk menciptakan sistem akselerator yang efisien dan mampu menghasilkan energi nuklir untuk mendukung ketahanan energi nasional.

Namun, pengembangan teknologi LINAC dihadapkan pada beberapa tantangan, salah satunya adalah struktur akan dimensi yang panjang, dapat mencapai beberapa meter hingga kilometer, tergantung pada tingkat energi yang ingin dicapai (Wangler, 2008). Oleh karena itu, untuk meminimalkan kendala tersebut, dibutuhkan pengembangan teknologi LINAC yang mampu menghasilkan energi nuklir dengan ukuran fisik yang *compact* dan efisien. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini adalah pengurangan panjang struktur DTL, namun tetap mempertahankan performa akselerasi energi yang optimal.

Pengembangan struktur DTL pada akselerator linear *compact* harus menghadapi tantangan dalam distribusi energi dan optimasi *Transit Time Factor* (TTF). Ukuran yang *compact* sering kali menyebabkan jarak antar komponen menjadi lebih dekat, sehingga dapat mempengaruhi energi yang disalurkan oleh partikel proton selama proses akselerasi (Martinez *et al.*, 2024). Hal ini mengharuskan adanya desain yang presisi dan perhitungan yang lebih teliti untuk memastikan bahwa setiap proton tetap mendapatkan akselerasi yang konsisten di setiap struktur DTL.

Penelitian akan berfokus pada konsep dasar untuk pengembangan dan optimasi struktur DTL dalam mencapai akselerasi energi proton yang efisien pada desain *compact* melalui simulasi komputasi dan perhitungan berbasis program *Python*. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengembangan DTL pada LINAC, serta berpotensi sebagai langkah inovatif dalam menghasilkan sumber energi proton melalui pemanfaatan teknologi nuklir

untuk mendukung ketahanan energi nasional dan mewujudkan kemandirian teknologi yang berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

- a. Berapa nilai hasil akselerasi energi proton pada setiap sel dan panjang struktur *Drift Tube Linac* (DTL) yang dirancang dalam akselerator linear *compact* guna mendukung ketahanan energi nasional?
- b. Berapa nilai *Transit Time Factor* (TTF) yang diperoleh dari desain struktur *Drift Tube Linac* (DTL) untuk mengoptimalkan efisiensi transfer energi dalam akselerator linear *compact*?

1.3 Tujuan Penelitian

- a. Untuk mengetahui nilai hasil akselerasi energi proton pada setiap sel dan panjang struktur DTL pada akselerator linear *compact* dalam upaya mendukung ketahanan energi nasional.
- b. Untuk mengetahui nilai *Transit Time Factor* (TTF) yang dapat mengoptimalkan transfer energi dalam desain struktur DTL pada akselerator linear *compact*.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini memberikan kontribusi teoritis dalam memperdalam pemahaman mahasiswa di bidang fisika kuantum dan nuklir khususnya bagian partikel. Melalui studi ini, mahasiswa dapat mengintegrasikan konsep fisika partikel bermuatan dan teknologi radio frekuensi (RF) dalam akselerator partikel, yang relevan dalam perkembangan fisika nuklir dan teknologi akselerasi partikel. Selain itu, penelitian ini juga memperluas pemahaman tentang teknologi akselerator partikel yang berimplikasi pada peningkatan inovasi dan aplikasi di bidang energi nuklir.

1.4.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini akan memberikan manfaat berupa panduan ilmiah untuk pengembangan desain *Drift Tube Linac* (DTL) pada akselerator linear. Penelitian ini memiliki potensi manfaat bagi praktisi dalam merancang akselerator yang mampu meningkatkan efisiensi percepatan partikel proton. Selain itu, penelitian ini dapat pula mendukung pengembangan teknologi akselerator linear proton yang dapat berkontribusi dalam mendukung ketahanan energi nasional.

Teknologi ini memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam berbagai sektor strategis, seperti bidang medis untuk terapi kanker berbasis proton, industri untuk pengolahan material, dan ilmu pengetahuan untuk eksplorasi penelitian lanjutan. Dengan demikian, penelitian ini memiliki relevansi strategis yang signifikan dalam pemanfaatan energi nuklir secara berkelanjutan di Indonesia.

