



ANALISIS KRITERIA LAWSON FUSI NUKLIR PROTON DAN BORON-11

IRFAN MAULANA AHMAD



DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Analisis Kriteria Lawson Fusi Nuklir Proton dan Boron-11” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2025

Irfan Maulana Ahmad
G7401211018



ABSTRAK

IRFAN MAULANA AHMAD. Analisis Kriteria Lawson Fusi Nuklir Proton dan Boron-11. Dibimbing oleh ABD. DJAMIL HUSIN dan SITTI YANI.

Reaksi fusi merupakan penggabungan dua inti atom ringan sehingga membentuk inti atom baru yang lebih berat disertai pelepasan sejumlah energi yang berasal dari kelebihan massa inti atom. Kriteria Lawson digunakan standar kerja meninjau fusi nuklir berkelanjutan serta mencapai tahap energi bersih. Penelitian ini bertujuan mengetahui kriteria Lawson fusi proton dan boron-11 dengan variasi temperatur ion 75-500 keV, pengaruh reaktivitas fusi dengan parameter Tentori-Beloni dan Nevins-Swain, serta pengaruh radiasi bremsstrahlung terhadap laju energi bersih yang dihasilkan fusi pada kondisi $T_e = T_i$, $T_e = 0,5 T_i$, dan $T_e = 0,25T_i$. Nilai kriteria Lawson yang dihasilkan bervariasi dengan rentang $1,322 \times 10^{22} - 1,337 \times 10^{24} \text{ m}^{-3} \text{ s}$. Nilai kriteria Lawson pada $T_i < 230 \text{ keV}$ mengalami penurunan akibat ketidakstabilan dan pendinginan plasma, mekanisme pengungkungan plasma dalam reaktor, dan *impurity* (zat pengotor). Untuk $T_i > 230 \text{ keV}$ nilai kriteria Lawson mengalami kenaikan hingga $T_i = 330 \text{ keV}$ dan $T_i = 500 \text{ keV}$ yang menandakan syarat minimum untuk mencapai tahap *ignition* dan *self-sustained* sistem fusi.

Kata kunci: kriteria Lawson, radiasi bremsstrahlung, reaktivitas fusi, reaksi fusi

ABSTRACT

IRFAN MAULANA AHMAD. Analysis of Lawson Criteria for Proton and Boron-11 Nuclear Fusion. Supervised by ABD. DJAMIL HUSIN and SITTI YANI.

Fusion reactions involve the combination of two light atomic nuclei to form a new, heavier atomic nucleus, accompanied by the release of energy derived from the excess mass of the atomic nuclei. Lawson criteria are used as a standard for reviewing sustainable nuclear fusion and achieving clean energy. This study aims to determine the Lawson criterion for proton and boron-11 fusion with varying ion temperatures of 75–500 keV, the effect of fusion reactivity with the Tentori-Beloni and Nevins-Swain parameters, and the effect of bremsstrahlung radiation on the rate of clean energy produced by fusion under conditions of $T_e = T_i$, $T_e = 0,5 T_i$, and $T_e = 0,25T_i$. The Lawson criterion values obtained vary within the range of $1,322 \times 10^{22} - 1,337 \times 10^{24} \text{ m}^{-3} \text{ s}$. The Lawson criterion value for $T_i < 230 \text{ keV}$ decreases due to plasma instability and cooling, the plasma confinement mechanism in the reactor, and impurities. For $T_i > 230 \text{ keV}$, the Lawson criterion value increases up to $T_i = 330 \text{ keV}$ and $T_i = 500 \text{ keV}$, indicating the minimum requirement to achieve the ignition stage and a self-sustained fusion system.

Keywords: fusion reaction, Lawson criteria, bremsstrahlung radiation, fusion reactivity



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

ANALISIS KRITERIA LAWSON FUSI NUKLIR PROTON DAN BORON-11

IRFAN MAULANA AHMAD

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Departemen Fisika

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1. Dr. Faozan, S.Si, M.Si

2. Prof. Dr. Akhiruddin, S. Si, M.Si



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Judul Skripsi : Analisis Kriteria Lawson Fusi Nuklir Proton dan Boron-11
Nama : Irfan MaulanaAhmad
NIM : G7401211018

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Disetujui oleh

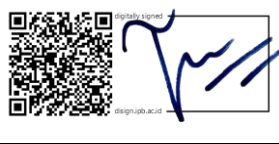
Pembimbing 1:
Abd. Djamil Husin, S.Si., M.Si.

Pembimbing 2:
Dr. Sitti Yani, S.Si., M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika
Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada Wijaya P, M.Si
NIP. 197205191997021001



Tanggal Ujian: 15 Juli 2025

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga skripsi dengan judul “Analisis Kriteria Lawson Fusi Nuklir Proton dan Boron-11” berhasil diselesaikan. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing yaitu Bapak Abd. Djamil Husin, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing pertama dan Ibu Dr. Sitti Yani, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing dan banyak memberikan saran kepada penulis. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing akademik, Orang tua, bapak dan ibu dosen yang selalu memberi motivasi dan arahan, serta rekan fisika 58 dan sahabat-sahabat penulis yang telah memberikan dukungan, doa, dan arahannya. Penulis sadar bahwa penelitian ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan

Bogor, Juni 2025

Irfan Maulana Ahmad



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Plasma	3
2.2 Fusi Nuklir	4
2.3 Reaksi Fusi Proton dan Boron-11	5
2.4 Kriteria Lawson	7
III METODE	9
3.1 Waktu dan Tempat	9
3.2 Alat Penelitian	9
3.3 Prosedur Kerja	9
3.4 Analisis Data	13
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	14
4.1 Reaktivitas Fusi	14
4.2 Laju Energi Fusi dan Radiasi Bremsstrahlung	15
4.3 Analisis Kriteria Lawson	20
V SIMPULAN DAN SARAN	24
5.1 Simpulan	24
5.2 Saran	24
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN	28
RIWAYAT HIDUP	32

DAFTAR TABEL

1	Parameter yang digunakan pada penelitian Tentori-Beloni serta Nevins-Swain	11
2	Reaktivitas fusi proton dan boron-11 untuk rentang temperatur ion (T_i) 75-500 keV	14
3	Laju energi fusi Tentori-Beloni dan bremsstrahlung dengan $T_e = 0,5T_i$	17
4	Laju energi fusi dan bremsstrahlung dengan $T_e = 0,25T_i$	18
5	Nilai kriteria Lawson Tentori-Beloni	20
6	Nilai kriteria Lawson Nevins-Swain	21

DAFTAR GAMBAR

7	Ilustrasi fase materi keempat (plasma)	3
8	Ilustrasi isotop hidrogen	5
9	Reaktivitas fusi proton dan boron-11 untuk rentang T_i 75-500 keV	14
10	Laju energi fusi dan bremsstrahlung dengan $T_e = T_i$	16
11	Laju energi fusi dan bremsstrahlung dengan $T_e = 0,5 T_i$	17
12	Laju energi fusi dan bremsstrahlung dengan $T_e = 0,25T_i$	19
13	Kriteria Lawson Tentori-Beloni	22
14	Kriteria Lawson Nevins-Swain	22

DAFTAR LAMPIRAN

15	Diagram alir penelitian	29
16	Perhitungan Z_i dan Z_{eff}	30