UNIVERSITAS
GADJAH MADA
IDENTIFIKASI RADIONUKLIDA BERBASIS SPEKTROSKOPI GAMMA MENGGUNAKAN DETEKTOR NaI(Tl) DAN CNN-GRU
Aditya Firdaus, Prof. Ir. Nazrul Effendy, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Ir. Gede Sutresna Wijaya, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

IDENTIFIKASI RADIONUKLIDA BERBASIS SPEKTROSKOPI GAMMA MENGGUNAKAN DETEKTOR NaI(Tl) DAN CNN-GRU

Aditya Firdaus

22/503637/TK/55047

Diajukan kepada Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada pada tanggal 13 Juli 2026
untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh derajat
Sarjana Program Studi Teknik Nuklir

INTISARI

Identifikasi dan estimasi aktivitas radionuklida multisumber berbasis spektroskopi gamma masih menjadi tantangan karena keterbatasan resolusi energi detektor NaI(Tl), terutama pada spektrum campuran dengan puncak energi yang saling berdekatan. Penelitian ini mengembangkan model *deep learning* hibrid CNN-GRU untuk mengidentifikasi keberadaan dan mengestimasi aktivitas ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{226}Ra, dan ^{152}Eu menggunakan data *full-spectrum* Gamma pada variasi jarak pengukuran.

Dataset terdiri atas 2.475 spektrum gamma, yaitu 825 data asli dan 1.650 data augmentasi, dari 15 kombinasi sumber pada variasi jarak 1–4 cm dan durasi pencacahan 1–4 menit. Data augmentasi dibentuk menggunakan penambahan *Gaussian noise* dengan SNR 10 dB dan 20 dB. Data diproses melalui pemotongan kanal menjadi 1.024 kanal, normalisasi min-max, serta pembagian *dataset* 60:20:20 untuk latih, validasi, dan uji. Data augmentasi ditempatkan pada subset yang sama dengan spektrum aslinya untuk mencegah kebocoran data antar-subset. Dua model CNN-GRU terpisah digunakan untuk klasifikasi multilabel dan regresi *multitarget* dengan optimasi *hyperparameter* menggunakan *Bayesian Optimization*.

Model klasifikasi menghasilkan F1-score sebesar 1,000 untuk ^{60}Co dan ^{226}Ra, serta 0,994 untuk ^{137}Cs dan ^{152}Eu pada 495 sampel data uji. Model regresi menghasilkan MAPE sebesar 6,14% untuk ^{60}Co, 3,88% untuk ^{137}Cs, 6,75% untuk ^{226}Ra, dan 5,63% untuk ^{152}Eu. Dengan kesalahan klasifikasi yang hanya muncul pada ^{137}Cs dan ^{152}Eu serta MAPE seluruh radionuklida di bawah 10%, model CNN-GRU menunjukkan performa yang baik untuk kondisi data yang dikaji.

Kata kunci: *CNN-GRU, spektroskopi gamma, identifikasi radionuklida, estimasi aktivitas*

Pembimbing Utama : Prof. Ir. Nazrul Effendy, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.

Pembimbing Pendamping : Ir. Gede Sutresna Wijaya, M.Eng.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
IDENTIFIKASI RADIONUKLIDA BERBASIS SPEKTROSKOPI GAMMA MENGGUNAKAN DETEKTOR NaI(Tl) DAN CNN-GRU
Aditya Firdaus, Prof. Ir. Nazrul Effendy, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Ir. Gede Sutresna Wijaya, M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

RADIONUCLIDE IDENTIFICATION BASED ON GAMMA SPECTROSCOPY USING NaI(Tl) DETECTOR AND CNN-GRU

Aditya Firdaus

22/503637/TK/55047

Submitted to the Department of Nuclear Engineering and Engineering Physics
Faculty of Engineering Universitas Gadjah Mada on July 13, 2026
in partial fulfillment of the requirement for the Degree of
Bachelor of Engineering in Nuclear Engineering

ABSTRACT

Multi-source radionuclide identification and activity estimation based on gamma spectroscopy remains challenging due to the limited energy resolution of NaI(Tl) detectors, particularly in mixed spectra with closely spaced energy peaks. This study developed a hybrid CNN-GRU deep learning model to identify the presence and quantify the activity of ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{226}Ra, and ^{152}Eu using full-spectrum gamma data at varying measurement distances.

The dataset consisted of 2,475 gamma-ray spectra, comprising 825 original spectra and 1,650 augmented spectra, obtained from 15 source combinations at distances of 1–4 cm and counting durations of 1–4 minutes. The augmented data were generated by adding Gaussian noise with SNR values of 10 dB and 20 dB. The data were processed through channel truncation to 1,024 channels, min-max normalization, and dataset splitting into training, validation, and test subsets with a 60:20:20 ratio. The augmented spectra were assigned to the same subset as their corresponding original spectra to prevent data leakage between subsets. Two separate CNN-GRU models were used for multilabel classification and multitarget regression, with hyperparameters optimized using Bayesian Optimization.

The classification model achieved F1-scores of 1.000 for ^{60}Co and ^{226}Ra, and 0.994 for ^{137}Cs and ^{152}Eu on 495 test samples. The regression model yielded MAPE values of 6.14% for ^{60}Co, 3.88% for ^{137}Cs, 6.75% for ^{226}Ra, and 5.63% for ^{152}Eu. The classification errors were observed only for ^{137}Cs and ^{152}Eu, while the MAPE values for all radionuclides remained below 10%. These results indicate that the CNN-GRU model achieved good performance under the investigated measurement conditions.

Keywords: *CNN-GRU, gamma spectroscopy, radionuclide identification, activity quantification*

Supervisor : Prof. Ir. Nazrul Effendy, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.

Co-Supervisor : Ir. Gede Sutresna Wijaya, M.Eng.