

# **FABRIKASI DAN KARAKTERISASI MIKROSFER BIOACTIVE GLASS BERPORI TERDOPING YTTRIUM**

**RIZKI NURHIKMAH**



**PROGRAM STUDI BIOFISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**



## @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.



## PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Fabrikasi dan Karakterisasi Mikrosfer *Bioactive Glass* Berpori Terdoping *Yttrium*” 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 tesis ini.

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

Bogor, Agustus 2026

Rizki Nurhikmah  
G7501222009

- 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.



## RINGKASAN

RIZKI NURHIKMAH. Fabrikasi dan Karakterisasi Mikrosfer *Bioactive Glass* Berpori Terdoping *Yttrium*. Dibimbing oleh YESSIE WIDYA SARI dan TOTO SUDIRO.

Kanker tulang primer masih menjadi tantangan dalam penanganan klinis karena terapi konvensional, seperti pembedahan, kemoterapi, dan radioterapi eksternal, memiliki keterbatasan dalam mengeliminasi sel kanker residual serta berpotensi merusak jaringan sehat. Mikrosfer *bioactive glass* berpori terdoping *yttrium* berpotensi dikembangkan sebagai pembawa radionuklida untuk terapi radiasi internal karena memiliki sifat bioaktif dan struktur berpori. Karakteristik pori menjadi faktor penting yang memengaruhi luas permukaan, kapasitas pemuatan radionuklida, dan interaksi material dengan lingkungan biologis. Salah satu pendekatan untuk mengendalikan struktur pori adalah melalui pengaturan jumlah porogen yang digunakan selama proses fabrikasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh rasio porogen terhadap karakteristik mikrosfer *bioactive glass* berpori terdoping *yttrium* yang difabrikasi menggunakan metode *flame spray spheroidization*. Serbuk *bioactive glass* borat terdoping *yttrium* dicampur dengan  $\text{CaCO}_3$  sebagai porogen pada rasio massa 3:1 dan 4:1, kemudian disferoidisasi menggunakan nyala oksi-asetilena. Karakterisasi dilakukan menggunakan *X-ray diffraction* (XRD), *scanning electron microscopy* (SEM), dan *energy-dispersive X-ray spectroscopy* (EDX). Analisis citra menggunakan ImageJ dilakukan untuk menentukan ukuran mikrosfer, distribusi ukuran pori, dan porositas permukaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh sampel mempertahankan karakter amorf khas *bioactive glass* setelah proses *flame spray spheroidization*. Peningkatan rasio porogen menghasilkan distribusi ukuran mikrosfer yang lebih seragam serta meningkatkan homogenitas struktur pori. Sampel dengan rasio porogen 4:1 memiliki distribusi ukuran pori yang lebih sempit, nilai koefisien variasi dan span yang lebih rendah, serta porositas permukaan yang lebih tinggi dibandingkan sampel dengan rasio 3:1. Analisis EDX menunjukkan bahwa unsur-unsur penyusun utama *bioactive glass* tetap terdeteksi setelah proses fabrikasi, sedangkan perbedaan kandungan unsur antar sampel dipengaruhi oleh keterbatasan sensitivitas EDX terhadap unsur ringan serta keberadaan residu porogen. Hasil XRD juga menunjukkan bahwa residu  $\text{CaCO}_3$  masih teridentifikasi pada beberapa sampel, sementara sampel dengan rasio porogen 4:1 menunjukkan eliminasi porogen yang lebih efektif. Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan rasio porogen menjadi 4:1 mampu menghasilkan mikrosfer *bioactive glass* berpori terdoping *yttrium* dengan struktur pori yang lebih homogen tanpa mengubah karakter amorf material. Pengaturan rasio porogen merupakan parameter penting dalam mengendalikan morfologi dan karakteristik pori sehingga berpotensi mendukung pengembangan mikrosfer *bioactive glass* sebagai pembawa radionuklida untuk terapi radiasi internal pada kanker tulang.

Kata kunci: *bioactive glass*, *flame spray spheroidization*, mikrosfer berpori, porogen, *yttrium-doping*



## SUMMARY

RIZKI NURHIKMAH. Fabrication and Characterization of Porous Yttrium-Doped Bioactive Glass Microspheres. Supervised by YESSIE WIDYA SARI and TOTO SUDIRO.

Primary bone cancer remains a major clinical challenge because conventional treatments, including surgery, chemotherapy, and external beam radiotherapy, have limitations in eliminating residual cancer cells while minimizing damage to healthy tissues. Porous yttrium-doped bioactive glass microspheres have attracted considerable interest as potential radionuclide carriers for internal radiation therapy owing to their bioactivity and porous structure. The pore architecture is a critical factor influencing surface area, radionuclide loading, and biological interactions. One practical approach to tailoring the pore structure is to regulate the amount of porogen incorporated during the fabrication process. This study investigated the effect of porogen ratio on the characteristics of porous yttrium-doped bioactive glass microspheres fabricated by flame spray spheroidization. Borate-based yttrium-doped bioactive glass powder was mixed with calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) as a porogen at mass ratios of 3:1 and 4:1. The resulting microspheres were characterized using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX). ImageJ was used to analyze microsphere size, pore size distribution, and surface porosity. The results demonstrated that all fabricated microspheres retained the amorphous structure characteristic of bioactive glass after the flame spray spheroidization process. Increasing the porogen ratio produced a more uniform microsphere size distribution and improved pore homogeneity. Microspheres prepared with a 4:1 porogen ratio exhibited a narrower pore size distribution, lower coefficient of variation and span values, and higher surface porosity than those fabricated with a 3:1 ratio. EDX analysis confirmed the presence of the principal constituent elements of the bioactive glass after fabrication, whereas variations in elemental composition among the samples were influenced by the limited sensitivity of EDX to light elements and the presence of residual porogen. XRD analysis further revealed residual  $\text{CaCO}_3$  crystalline phases in several samples, while the 4:1 specimen showed more effective porogen removal. The findings indicate that increasing the porogen ratio to 4:1 improves pore homogeneity while preserving the amorphous nature of yttrium-doped bioactive glass microspheres. The porogen ratio is therefore an important processing parameter for controlling microsphere morphology and pore architecture. These results provide useful insights for the development of porous yttrium-doped bioactive glass microspheres as radionuclide carriers for internal radiation therapy in bone cancer treatment.

**Keywords:** bioactive glass, flame spray spheroidization, porous microspheres, porogen, yttrium-doping.



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 2026  
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.*

# **FABRIKASI DAN KARAKTERISASI MIKROSFER BIOACTIVE GLASS BERPORI TERDOPING YTTRIUM**

**RIZKI NURHIKMAH**

Tesis  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Magister pada  
Program Studi Biofisika

**PROGRAM STUDI BIOFISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Penguji pada Ujian Tesis:  
Dr. Mersi Kurniati, S.Si., M.Si.



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.



Judul Tesis : Fabrikasi dan Karakterisasi Mikrosfer *Bioactive Glass* Berpori  
Terdoping *Yttrium*  
Nama : Rizki Nurhikmah  
NIM : G7501222009

Disetujui oleh

Pembimbing 1:  
Dr. Yessie Widya Sari, S.Si., M.Si.

Pembimbing 2:  
Dr. Toto Sudiro, S.T., M.Eng.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:  
Dr. Mersi Kurniati, S.Si., M.Si.  
NIP 196811171998022001

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan  
Alam:  
Dr. Berry Juliandi, S.Si., M.Si.  
NIP 197807232007011001

Tanggal Ujian: 13 Agustus 2026

Tanggal Lulus:



## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Maret 2023 sampai bulan Mei 2026 ini ialah proses fabrikasi dan karakterisasi material *bioglass*, dengan judul "Fabrikasi dan Karakterisasi Mikrosfer *Bioactive Glass* Terdoping *Yttrium*".

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr. Yessie Widya Sari, S.Si., M.Si., dan Dr. Toto Sudiro, S.T., M.Eng. yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dr. Faozan Ahman, S.Si., M.Si selaku moderator seminar dan kepada Dr. Mersi Kurniati, S.Si., M.Si. selaku penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, rasa terima kasih dan penghargaan penulis sampaikan kepada ibu Nur Aisyah Nuzulia, S.Si., M.Si yang telah membantu dan membimbing selama proses penelitian dan pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu dan adik-adik serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2026

*Rizki Nurhikmah*



## DAFTAR ISI

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| DAFTAR TABEL                                        | x  |
| DAFTAR GAMBAR                                       | x  |
| DAFTAR LAMPIRAN                                     | xi |
| I PENDAHULUAN                                       | 1  |
| 1.1 Latar Belakang                                  | 1  |
| 1.2 Rumusan Masalah                                 | 3  |
| 1.3 Tujuan                                          | 4  |
| 1.4 Manfaat                                         | 4  |
| 1.5 Ruang Lingkup                                   | 4  |
| II TINJAUAN PUSTAKA                                 | 5  |
| 2.1 <i>Bioactive Glass</i>                          | 5  |
| 2.2 <i>Yttrium (Y-90)</i>                           | 6  |
| 2.3 Mikrosfer                                       | 7  |
| 2.4 Porogen                                         | 8  |
| 2.5 <i>Flame Spray Spheroidization</i>              | 9  |
| III METODE                                          | 11 |
| 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian                     | 11 |
| 3.2 Alat dan Bahan                                  | 11 |
| 3.3 Prosedur Kerja                                  | 11 |
| IV HASIL DAN PEMBAHASAN                             | 14 |
| 4.1 Karakterisasi BG dan BGY                        | 14 |
| 4.2 Karakterisasi MBG dengan Variasi Rasio Porogen  | 17 |
| 4.3 Karakterisasi MBGY dengan Variasi Rasio Porogen | 24 |
| V SIMPULAN DAN SARAN                                | 31 |
| 5.1 Simpulan                                        | 31 |
| 5.2 Saran                                           | 31 |
| DAFTAR PUSTAKA                                      | 32 |
| LAMPIRAN                                            | 38 |
| RIWAYAT HIDUP                                       | 43 |



## DAFTAR TABEL

|    |                                                   |    |
|----|---------------------------------------------------|----|
| 1  | Komposisi partikel <i>bioactive glass</i>         | 12 |
| 2  | Ukuran partikel BG dan BGY                        | 16 |
| 3  | Hasil analisis komposisi unsur BG dan BGY         | 17 |
| 4  | Ukuran partikel MBG dengan variasi rasio porogen  | 21 |
| 5  | Hasil analisis komposisi unsur MBG 3:1 dan 4:1    | 22 |
| 6  | Analisis kuantitatif ukuran pori MBG              | 23 |
| 7  | Parameter distribusi ukuran pori MBG              | 23 |
| 8  | Ukuran partikel MBGY dengan variasi rasio porogen | 27 |
| 9  | Hasil analisis komposisi unsur MBGY               | 28 |
| 10 | Analisis kuantitatif ukuran pori MBGY             | 30 |
| 11 | Parameter distribusi ukuran pori MBGY             | 30 |

## DAFTAR GAMBAR

|    |                                                                                                                                                                            |    |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Skema proses <i>flame spray spheroidization</i> untuk fabrikasi mikrosfer <i>bioactive glass</i> berpori terdoping <i>yttrium</i> (diadaptasi dari Hossain et al. (2015)). | 10 |
| 2  | Pola difraksi sinar-X BG dan BGY                                                                                                                                           | 14 |
| 3  | Citra SEM morfologi permukaan partikel: (a) BG dan (b) BGY                                                                                                                 | 15 |
| 4  | Histogram ukuran partikel: a1) BG kecil, a2) BG besar, b1) BGY kecil dan b2) BGY besar                                                                                     | 16 |
| 5  | Pola difraksi sinar-X mikrosfer <i>bioactive glass</i> berpori dengan variasi porogen                                                                                      | 18 |
| 6  | Citra SEM mikrosfer <i>bioactive glass</i> : a1) MBG 3:1, a2) Pori MBG 3:1, b2) MBG 4:1, dan b2) Pori MBG 4:1                                                              | 21 |
| 7  | Histogram ukuran MBG: a1) 3:1 kecil, a2) 3:1 besar, b1) 4:1 kecil dan b2) 4:1 besar                                                                                        | 21 |
| 8  | Histogram ukuran pori MBG: a1) 3:1 kecil, a2) 3:1 besar, b1) 4:1 kecil dan b2) 4:1 besar                                                                                   | 23 |
| 9  | Pola difraksi sinar-X mikrosfer <i>bioactive glass</i> terdoping <i>yttrium</i>                                                                                            | 25 |
| 10 | Citra SEM mikrosfer <i>bioactive glass</i> terdoping <i>yttrium</i> : a1) MBGY 3:1, a2) Pori MBGY 3:1, b2) MBGY 4:1, dan b2) Pori MBGY 4:1                                 | 27 |
| 11 | Histogram ukuran MBGY: a1) 3:1 kecil, a2) 3:1 besar, b1) 4:1 kecil dan b2) 4:1 besar                                                                                       | 28 |
| 12 | Histogram ukuran pori MBGY: a1) 3:1 kecil, a2) 3:1 besar, b1) 4:1 kecil dan b2) 4:1 besar                                                                                  | 30 |



## DAFTAR LAMPIRAN

|   |                                                |    |
|---|------------------------------------------------|----|
| 1 | Dokumentasi selama proses penelitian           | 39 |
| 2 | Perhitungan massa komposisi bahan              | 40 |
| 3 | Perhitungan CV ukuran pori MBG                 | 41 |
| 4 | Perhitungan CV ukuran pori MBGY                | 41 |
| 5 | Identifikasi fase XRD menggunakan database COD | 42 |