



# **SIMULASI MODEL BIOSENSOR *NANOBEAM* PADA SISTEM NANOELEKTROMEKANIK UNTUK DETEKSI PENYAKIT**

**FURQAN SANJAYA HARTAWAN**



**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**





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

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Simulasi Model Biosensor *Nanobeam* pada Sistem Nanoelektromekanik untuk Deteksi Penyakit” 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, Juli 2026

Furqan Sanjaya Hartawan  
G7401221055



## @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.

## ABSTRAK

FURQAN SANJAYA HARTAWAN. Simulasi Model Biosensor *Nanobeam* pada Sistem Nanoelektromekanik untuk Deteksi Penyakit. Dibimbing oleh AGUS KARTONO dan AKHIRUDDIN MADDU.

Model biosensor *nanobeam clamped-clamped* pada sistem nanoelektromekanik digunakan untuk merepresentasikan respons biosensor dalam mendeteksi analit melalui perubahan defleksi *nanobeam*. Model matematis berupa persamaan gerak nonlinier hasil reduksi Galerkin diselesaikan menggunakan *Elzaki Variational Iteration Method* (EVIM) dan dibandingkan dengan metode numerik Runge-Kutta orde empat (RK4). Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi nonlinearitas geometri, gaya aksial, dan gaya van der Waals menghasilkan perubahan respons dinamis *nanobeam*. Nonlinearitas geometri dan gaya aksial memengaruhi karakteristik osilasi yang berkaitan dengan sensitivitas biosensor, sedangkan gaya van der Waals meningkatkan defleksi *nanobeam* akibat interaksi pada skala nano. Perubahan respons tersebut menunjukkan bahwa defleksi *nanobeam* dapat digunakan sebagai indikator keberadaan analit dalam proses deteksi. Solusi EVIM menunjukkan kesesuaian yang baik dengan RK4 pada variasi amplitudo awal, nonlinearitas geometri, dan gaya aksial. Namun, pada variasi gaya van der Waals, EVIM belum mampu merepresentasikan respons sistem secara penuh pada rentang parameter yang digunakan.

Kata kunci: biosensor, *nanobeam clamped-clamped*, analit, defleksi, EVIM

## ABSTRACT

FURQAN SANJAYA HARTAWAN. Simulation of a Nanobeam Biosensor Model in Nanoelectromechanical System for Disease Detection. Supervised by AGUS KARTONO and AKHIRUDDIN MADDU.

A clamped-clamped nanobeam biosensor model in a nanoelectromechanical system is used to represent the biosensor response for analyte detection through changes in nanobeam deflection. The mathematical model, consisting of nonlinear equations of motion derived from the Galerkin reduction was solved using the Elzaki Variational Iteration Method (EVIM) and validated against the fourth-order Runge-Kutta (RK4) numerical method. Simulation results show that variations in geometric nonlinearity, axial force, and van der Waals force alter the dynamic response of the nanobeam. Geometric nonlinearity and axial force affect the oscillatory behavior associated with biosensor sensitivity, whereas van der Waals force increases the nanobeam deflection due to nanoscale interactions. These response variations indicate that nanobeam deflection can serve as an indicator of analyte presence during the detection process. The EVIM solution shows good agreement with RK4 for variations in initial amplitude, geometric nonlinearity, and axial force. However, under variations in van der Waals force, EVIM is not able to fully capture the system response within the parameter range considered.

Keywords: biosensor, clamped-clamped nanobeam, analyte, deflection, EVIM



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<sup>1</sup>  
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.*

# **SIMULASI MODEL BIOSENSOR *NANOBEAM* PADA SISTEM NANOELEKTROMEKANIK UNTUK DETEKSI PENYAKIT**

**FURQAN SANJAYA HARTAWAN**

Skripsi  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana pada  
Program Studi Fisika

**DEPARTEMEN FISIKA  
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.

**Tim Penguji pada Ujian Skripsi:**

- 1. Dr. Yessie Widya Sari, S.Si., M.Si.**
- 2. Prof. Dr. Husin Alatas, S.Si., M.Si.**



Judul Skripsi : Simulasi Model Biosensor *Nanobeam* pada Sistem  
Nanoelektromekanik untuk Deteksi Penyakit  
Nama : Furqan Sanjaya Hartawan  
NIM : G7401221055

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan 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.

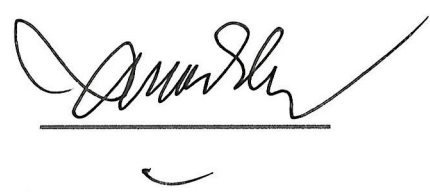
@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:  
Prof. Dr. Agus Kartono, S.Si., M.Si.  
NIP. 19700421 199903 1 002



Pembimbing 2:  
Prof. Dr. Akhiruddin Maddu, S.Si., M.Si.  
NIP. 19660907 199802 1 006



Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika:  
Dr. Ir. Irmansyah, S.Si., M.Si.  
NIP. 19680916 199403 1 001



Tanggal Ujian: 5 Agustus 2026

Tanggal Lulus:



## @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.

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Februari 2026 sampai bulan Juni 2026 ini ialah Biosensor, dengan judul "Simulasi Model Biosensor *Nanobeam* pada Sistem Nanoelektromekanik untuk Deteksi Penyakit".

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para pembimbing, Bapak Prof. Dr. Agus Kartono, S.Si., M.Si. dan Bapak Prof. Dr. Akhiruddin Maddu, S.Si., M.Si., atas segala bimbingan, arahan, kesabaran, serta saran yang diberikan selama proses penyusunan skripsi ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada pembimbing akademik, moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing atas masukan dan perhatian yang telah diberikan.

Ungkapan terima kasih yang tulus penulis persembahkan kepada kedua orang tua tercinta, Ayah Hartawan dan Ibu Marlina, atas kasih sayang, doa yang tidak pernah putus, pengorbanan, serta dukungan yang selalu menguatkan setiap langkah penulis. Terima kasih juga kepada adik tercinta, Febri Afifah Hartawan, serta seluruh keluarga besar yang senantiasa memberikan doa, semangat, dan perhatian. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Sintya Nuri Ilmi, yang telah menjadi tempat berbagi ilmu, cerita, dan suka duka selama perjalanan ini. Kehadiran, dukungan, serta semangat yang diberikan menjadi salah satu penyemangat bagi penulis dalam menyelesaikan studi. Akhirnya, penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan seperjuangan, yaitu Fahru, Joseph, Iqbal, Nata, Azka, Pii, Faza, Melvin, Adra, Kenet, Rifqi, serta seluruh keluarga besar Fisika 59, atas kebersamaan, persahabatan, bantuan, dan kenangan yang telah menjadi bagian berharga dalam perjalanan selama menempuh pendidikan di Departemen Fisika.

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

Bogor, Juli 2026

*Furqan Sanjaya Hartawan*



## @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.

## DAFTAR ISI

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| DAFTAR TABEL                                                                           | x  |
| DAFTAR GAMBAR                                                                          | x  |
| DAFTAR LAMPIRAN                                                                        | x  |
| I PENDAHULUAN                                                                          | 1  |
| 1.1 Latar Belakang                                                                     | 1  |
| 1.2 Rumusan Masalah                                                                    | 3  |
| 1.3 Tujuan                                                                             | 3  |
| 1.4 Manfaat                                                                            | 3  |
| 1.5 Ruang Lingkup                                                                      | 3  |
| II TINJAUAN PUSTAKA                                                                    | 4  |
| 2.1 Biosensor pada Sistem Nanoelektromekanik                                           | 4  |
| 2.2 Biosensor <i>Nanobeam Clamped-Clamped</i> pada Sistem Nanoelektromekanik           | 5  |
| 2.3 Pemodelan Matematis <i>Nanobeam Clamped-Clamped</i> pada Sistem Nanoelektromekanik | 7  |
| 2.4 Reduksi Galerkin                                                                   | 8  |
| 2.5 <i>Elezaki Variational Iteration Method (EVIM)</i>                                 | 9  |
| III METODE                                                                             | 11 |
| 3.1 Waktu dan Tempat                                                                   | 11 |
| 3.2 Alat dan Bahan                                                                     | 11 |
| 3.3 Prosedur Penelitian                                                                | 11 |
| 3.3.1 Rumusan Model Matematika                                                         | 11 |
| 3.3.2 Rumusan Model tak Berdimensi                                                     | 11 |
| 3.3.3 Reduksi Galerkin                                                                 | 12 |
| 3.3.4 Metode EVIM                                                                      | 13 |
| 3.3.5 Metode Runge-Kutta Orde Empat (RK4)                                              | 14 |
| 3.3.6 Pembuatan Program                                                                | 15 |
| 3.3.7 Variasi Parameter                                                                | 16 |
| IV HASIL DAN PEMBAHASAN                                                                | 18 |
| 4.1 Pengaruh Parameter $B$ terhadap Defleksi <i>Nanobeam</i>                           | 18 |
| 4.2 Pengaruh Parameter $\alpha$ terhadap Defleksi <i>Nanobeam</i>                      | 19 |
| 4.3 Pengaruh Parameter $N$ terhadap Defleksi <i>Nanobeam</i>                           | 22 |
| 4.4 Pengaruh Parameter $\lambda$ terhadap Defleksi <i>Nanobeam</i>                     | 24 |
| V SIMPULAN DAN SARAN                                                                   | 28 |
| 5.1 Simpulan                                                                           | 28 |
| 5.2 Saran                                                                              | 28 |
| DAFTAR PUSTAKA                                                                         | 29 |
| LAMPIRAN                                                                               | 31 |
| RIWAYAT HIDUP                                                                          | 37 |



## DAFTAR TABEL

|   |                                                   |    |
|---|---------------------------------------------------|----|
| 1 | Variasi nilai amplitudo awal ( $B$ )              | 16 |
| 2 | Variasi nilai nonlinearitas geometri ( $\alpha$ ) | 17 |
| 3 | Variasi nilai gaya aksial ( $N$ )                 | 17 |
| 4 | Variasi nilai gaya van der Waals ( $\lambda$ )    | 17 |

## DAFTAR GAMBAR

|    |                                                                                                                                                                   |    |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Skema biosensor <i>cantilever</i> (Johnson dan Mutharasan 2012)                                                                                                   | 1  |
| 2  | Skema biosensor untuk mendeteksi analit (Chambers <i>et al.</i> 2008)                                                                                             | 4  |
| 3  | Biosensor dalam sampel: (a) ketika dilapisi antibodi; (b) ketika berinteraksi dengan analit (Shaath dan Abdelkefi 2016)                                           | 5  |
| 4  | Skema defleksi elemen mekanis biosensor (Chambers <i>et al.</i> 2008)                                                                                             | 5  |
| 5  | Struktur biosensor <i>nanobeam clamped-clamped</i>                                                                                                                | 6  |
| 6  | Model <i>nanobeam</i> mengalami defleksi (Qian <i>et al.</i> 2019)                                                                                                | 7  |
| 7  | Diagram alir algoritma pemrograman                                                                                                                                | 16 |
| 8  | Grafik defleksi <i>nanobeam clamped-clamped</i> terhadap waktu dengan variasi parameter $B = 0,1$ dan $B = 0,2$                                                   | 18 |
| 9  | Grafik defleksi <i>nanobeam clamped-clamped</i> terhadap waktu dengan variasi parameter $\alpha$ dari 10 hingga 75 pada kondisi: (a) $B = 0,1$ ; (b) $B = 0,2$    | 20 |
| 10 | Pembesaran grafik defleksi <i>nanobeam clamped-clamped</i> pada variasi parameter $\alpha$ untuk kondisi $B = 0,2$                                                | 21 |
| 11 | Grafik defleksi <i>nanobeam clamped-clamped</i> terhadap waktu dengan variasi parameter $N$ dari 30 hingga 45 pada kondisi: (a) $B = 0,1$ ; (b) $B = 0,2$         | 22 |
| 12 | Pembesaran grafik defleksi <i>nanobeam clamped-clamped</i> pada variasi parameter $N$ untuk kondisi $B = 0,1$                                                     | 23 |
| 13 | Grafik defleksi <i>nanobeam clamped-clamped</i> terhadap waktu dengan variasi parameter $\lambda$ dari 0,5 hingga 2,0 pada kondisi: (a) $B = 0,1$ ; (b) $B = 0,2$ | 25 |
| 14 | Pembesaran grafik defleksi <i>nanobeam clamped-clamped</i> pada variasi parameter $\lambda$ untuk kondisi $B = 0,1$                                               | 26 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|   |                                                                                                            |    |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Lampiran 1 Diagram alir pelaksanaan penelitian                                                             | 32 |
| 2 | Lampiran 2 Perhitungan parameter $h_0 - h_{10}$ pada Persamaan (17) (Tang <i>et al.</i> 2023)              | 33 |
| 3 | Lampiran 3 Perhitungan koefisien $\Gamma_0, \dots, \Gamma_6$ pada Persamaan (23) (Tang <i>et al.</i> 2023) | 34 |
| 4 | Lampiran 4 Perhitungan koefisien $a_0, \dots, a_6$ pada Persamaan (26) (Tang <i>et al.</i> 2023)           | 35 |
| 5 | Lampiran 5 Penyelesaian numerik Persamaan (31) menggunakan metode RK4                                      | 36 |