

PEMODELAN TRANSISTOR EFEK MEDAN PEKA ION SEBAGAI SENSOR pH

BAGUS SADEWO RIZKHAR KHAN HIDAYAT



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





PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Pemodelan Transistor Efek Medan Peka Ion sebagai Sensor pH” 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, Mei 2025

Bagus Sadewo Rizkhar Khan Hidayat
G7401211023

- 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 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

BAGUS SADEWO RIZKHAR KHAN HIDAYAT. Pemodelan Transistor Efek Medan Peka Ion sebagai Sensor pH. Dibimbing oleh AGUS KARTONO dan AKHIRUDDIN.

Pemodelan *ion sensitive field effect transistor* (ISFET) sebagai sensor pH dilakukan secara numerik. Pengaruh pH larutan terhadap kurva karakteristik transfer, tegangan luaran, atau arus luaran dianalisis secara regresi. Metode Secant diterapkan untuk mencari tegangan yang terinduksi pada permukaan silanol. Sementara itu, kombinasi metode beda hingga dan metode Euler digunakan untuk simulasi transistor efek medan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kurva karakteristik transfer bergeser ke arah tegangan referensi yang lebih positif. Sensitivitas ISFET potensiometrik stabil pada 59,2 mV/pH, sedangkan sensitivitas ISFET amperometrik bervariasi karena pengaruh transkonduktansi. Temuan ini menegaskan bahwa pemodelan numerik dapat memprediksi kerja ISFET sebagai sensor pH.

Kata kunci: Beda hingga, Sensitivitas ISFET, Secant, Kurva karakteristik transfer ISFET, Silanol



ABSTRACT

BAGUS SADEWO RIZKHAR KHAN HIDAYAT. Modeling of Ion-Sensitive Field Effect Transistors as pH Sensors. Supervised by AGUS KARTONO and AKHIRUDDIN.

The modeling of ion-sensitive field-effect transistors (ISFETs) as pH sensors was conducted numerically. The influence of solution pH on the transfer characteristic curve, output voltage, and output current was analyzed using regression. The Secant method was applied to determine the voltage induced on the silanol surface. Meanwhile, a combination of the finite difference method and Euler's method was used for field-effect transistor simulation. The results of this study show that the transfer characteristic curve shifts toward a more positive reference voltage. The potentiometric sensitivity of the ISFET remains stable at 59.2 mV/pH, while the amperometric sensitivity varies due to the influence of transconductance. These findings confirm that numerical modeling can effectively predict the performance of ISFETs as pH sensors.

Keywords: Finite difference, ISFET sensitivity, Secant, ISFET transfer characteristic curve, Silanol



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.



PEMODELAN TRANSISTOR EFEK MEDAN PEKA ION SEBAGAI SENSOR pH

BAGUS SADEWO RIZKHAR KHAN HIDAYAT

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
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.

Judul Skripsi : Pemodelan Transistor Efek Medan Peka Ion sebagai Sensor pH
Nama : Bagus Sadewo Rizkhar Khan Hidayat
NIM : G7401211023

Disetujui oleh

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



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



Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika:
Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada Wijaya Puspita, M.Si.
NIP. 19720519 199702 1 001



Tanggal Ujian: 12 Juni 2025

Tanggal Lulus:



- 

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala karunia dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul *"Pemodelan Transistor Efek Medan Peka Ion sebagai Sensor pH"*, yang dilaksanakan dari Desember 2024 hingga April 2025. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para pembimbing, Dr. Agus Kartono, M.Si., dan Prof. Dr. Akhiruddin, M.Si., atas bimbingan, arahan, dan saran yang sangat berharga selama proses penelitian. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada dosen penggerak akademik, Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada Wijaya Puspita, M.Si., atas dukungannya selama masa studi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada moderator seminar hasil dan tim penguji atas masukan dan evaluasi yang membangun. Tak lupa, penulis berterima kasih kepada seluruh dosen Program Studi Fisika, dosen PPKU, serta dosen pengampu lainnya atas ilmu yang telah diberikan, serta kepada tenaga kependidikan Program Studi Fisika yang telah membantu dalam proses administrasi, juga kepada para asisten responssi dan praktikum.

Kepada Ayahanda Hidayat Rekso Buwono dan Ibunda Sugiartie, penulis menyampaikan terima kasih atas segala doa dan dukungan yang tak ternilai. Terima kasih juga kepada saudara Bimo Arif Wibowo dan saudari Bilqist Khairunnisa Rahma atas dukungannya. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan terdekat: Firdaus, Bayu, Raihan, Siti Khoriah, Siti Farhah, Akta Homa, Jesika, Irfan, Silvi, Shevara, Rangga, Agung, serta seluruh rekan Fisika angkatan 58. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada Kak Fajri dan Kak Rohul atas dukungan dan semangatnya, serta kepada Kak Rukhshon dan Kak Reynaldy dari angkatan 56; Kak Fauzani dan Kak Ulum serta rekan-rekan Fisika angkatan 57; serta rekan-rekan Fisika angkatan 59 dan 60. Terima kasih juga kepada komunitas tertutup Mikoshi Semikonduktor Indonesia yang telah menjadi ruang diskusi selama proses penelitian ini.

Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak, khususnya dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang fisika.

Bogor, Mei 2025

Bagus Sadewo Rizkhar Khan Hidayat



@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.

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 GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 ISFET	3
2.2 Bahan Semikonduktor	6
2.3 Distribusi Potensial Listrik	7
2.4 Arus Listrik	7
III METODE	9
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	9
3.2 Alat dan Bahan	9
3.3 Desain ISFET	9
3.4 Algoritma Komputasi	10
3.5 Variasi Parameter dan Teknik Analisis Data	11
3.6 Prosedur Penelitian	11
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	13
4.1 Pengujian Simulasi MOSFET	13
4.2 Pengujian Simulasi Permukaan Silanol	14
4.3 Kurva Karakteristik Transfer ISFET	14
4.4 Sensitivitas ISFET Potensiometrik	15
4.5 Sensitivitas ISFET Amperometrik	16
V KESIMPULAN	18
5.1 Simpulan	18
5.2 Saran	18
DAFTAR PUSTAKA	19
LAMPIRAN	21
RIWAYAT HIDUP	26



DAFTAR GAMBAR

2.1	Diagram skematik: (a) MOSFET, (b) ISFET	3
2.2	Rangkaian listrik: (a) potensiometrik ISFET, (b) amperometrik ISFET	4
2.3	Kurva karakteristik transfer ISFET	4
3.1	Desain ISFET	9
4.1	Kurva distribusi: (a) potensial listrik saat $d = 200$ nm, (b) konsentrasi elektron saat $d = 200$ nm, (c) potensial listrik saat $d = 20$ nm, dan (d) konsentrasi elektron saat $d = 20$ nm	13
4.2	Kurva potensial terinduksi pada permukaan silanol terhadap pH larutan: (a) hasil penelitian ini, (b) hasil penelitian (Meixner dan Koch 1992), dan (c) hasil penelitian (van Hal <i>et al.</i> 1996)	14
4.3	Kurva karakteristik transfer ISFET: (a) hasil penelitian ini, (b) hasil penelitian (Kaisti <i>et al.</i> 2015), dan (c) hasil uji ISFET oleh ITE (Chung <i>et al.</i> 2015)	15
4.4	Korelasi linier antara tegangan referensi umpan balik dan pH larutan pada berbagai kerapatan arus <i>drain-source</i>	16
4.5	Korelasi linier antara kerapatan arus <i>drain-source</i> dan pH larutan pada berbagai tegangan referensi	16
4.6	Transkonduktansi ISFET pada berbagai pH larutan	17

DAFTAR LAMPIRAN

1	Jadwal palang penelitian	21
2	Daftar parameter yang digunakan	22
3	Diagram alir penelitian	23
4	Data karakteristik transfer ISFET pada berbagai kondisi pH	24
5	Data transkonduktansi ISFET pada berbagai pH larutan	25