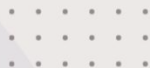




Universitas Negeri Medan
Jurusan Matematika



2024 PROSIDING SEMINAR NASIONAL MATEMATIKA

Transformasi, Rekonstruksi, dan integrasi keilmuan dalam pembelajaran matematika menuju era inovasi dan kolaborasi



Prof. Dr. Syawal Gultom, M.Pd
Narasumber 1



Prof. Dr. Ferra Yanuar, M.Sc
Narasumber 2



Dr. Ani Sutiani, M.Si
Opening Speech



20
NOVEMBER

AT 9 AM

Vol 3 (2024)



Visit our website
semnasmatematika.com

TRANSFORMASI, REKONSTRUKSI, DAN INTEGRASI KEILMUAN DALAM PEMBELAJARAN
MATEMATIKA MENUJU ERA INOVASI DAN KOLABORASI

2024

CV. KES

2024

PROSIDING SEMINAR NASIONAL MATEMATIKA

**TRANSFORMASI, REKONSTRUKSI, DAN INTEGRASI
KEILMUAN DALAM PEMBELAJARAN MATEMATIKA MENUJU
ERA INOVASI DAN KOLABORASI**

Penulis

**Peserta Prosiding Seminar Nasional
Matematika 2024**



Penerbit
CV. Kencana Emas Sejahtera
Medan
2025

2024

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL

MATEMATIKA

**TRANSFORMASI, REKONSTRUKSI, DAN INTEGRASI
KEILMUAN DALAM PEMBELAJARAN MATEMATIKA MENUJU
ERA INOVASI DAN KOLABORASI**

©Penerbit CV. Kencana Emas Sejahtera

All right reserved

Anggota IKAPI

No.030/SUT/2019

Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang
Dilarang mengutip atau memperbanyak
sebagian atau seluruh isi buku tanpa
izin tertulis dari Penerbit

Penulis

**Peserta Prosiding Seminar Nasional
Matematika 2024**

TIM EDITOR

Diterbitkan pertama kali oleh
Penerbit CV. Kencana Emas Sejahtera
Jl.Pimpinan Gg. Agama No.17 Medan
Email finamardiana3@gmail.com
HP 082182572299 / 08973796444

Cetakan pertama, Juli 2025
xii + 882 hlm; 21 cm x 29,7 cm
ISBN:978-634-7059-33-8

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karuniaNya, sehingga Buku Abstrak Prosiding Seminar Nasional Matematika yang diselenggarakan Jurusan Matematika, FMIPA Universitas Negeri Medan. Kegiatan ini mengusung tema Transformasi, Rekonstruksi, dan integrasi keilmuan dalam pembelajaran matematika menuju era inovasi dan kolaborasi dengan keynote speaker Prof. Dr. Syawal Gultom, M.Pd. dan Prof. Dr. Ferra Yanuar, M.Sc. serta Dr. Ani Sutiani, M.Si. sebagai *Opening Speech*. Tujuan kegiatan ini selain menciptakan lingkungan akademik di lingkungan jurusan matematika FMIPA Universitas Negeri Medan, juga menjadi wadah untuk penyebaran pengembangan ilmu pada bidang matematika dan rumpun ilmu yang berkaitan. Kegiatan yang dilaksanakan pada tanggal 20 November ini diikuti oleh 228 peserta seminar dan 131 pemakalah (*presenter*) yang berasal dari beberapa institusi di tingkat Nasional. Artikel yang diterima terdiri dari dikelompokkan pada 4 bidang; (1) ilmu Komputer; (2) Pendidikan matematika; (3) statistik; dan (4) Matematika. Dari 131 Full Paper yang masuk, selain diterbitkan dalam bentuk prosiding, juga akan diterbitkan pada mitra publikasi jurnal kami; (1) Jurnal Fibonacci: Jurnal Pendidikan Matematika; (2) Journal of Mathematics, Computations, and Statistics; (3) jurnal Zero: Jurnal Sains, Matematika dan Terapan dan (4) Journal of Didactic Mathematics

Kelancaran kegiatan persiapan kegiatan seminar ini telah didukung oleh jajaran pimpinan Universitas Medan, oleh karena itu Kami mengucapkan terima kasih kepada (1) Ketua Senat Universitas Negeri Medan; (2) Rektor Universitas Negeri Medan; (3) Dekan FMIPA Universitas; dan (4) ketua Jurusan Pendidikan. Kami juga mengucapkan seluruh pihak-pihak terkait yang tidak dapat kami sebutkan satu terutama Panitia Pelaksana dan partisipan dalam pelaksanaan seminar Nasional ini. Semoga prosiding Seminar Nasional Matematika ini, dapat memberikan wawasan dan melengkapi kemajuan teknologi pada bidang yang berkaitan dengan Matematika.

Medan, 7 Februari 2025
a.n Panitia Pelaksana

Dr. Yulita Molliq Rangkuti, S.Si, M.Sc

.....

Thanks To INVITED SPEAKER

Terima kasih kami ucapkan kepada Invite Speaker



Yulita M. Ranguti, S.Si., M.Sc., Ph.D



Dr. Izwita Dewi, M.Pd



Dra. Nurliani Manurung, M.Pd.



Dra. Katrina Samosir, M.Pd



Kairuddin, S.Si., M.Pd.



Dr. Faiz Ahyaningsih, S.Si., M.Si.

EDITORIAL TEAM

Pengarah	Dr. Ani Sutiani, M.Si.
Penanggung jawab	Yulita Molliq Rangkuti, S.Si., M.Sc., Ph.D.
Editor	Suwanto, M.Pd.
Section Editor	Dinda Kartika, S.Pd., M.Si. Fevi Rahmawati Suwanto, S.Pd., M.Pd. Suci Frisnoiry, S.Pd., M.Pd. Sisti Nadia Amalia, S.Pd., M.Stat. Nurul Maulida Surbakti, M.Si. Glory Indira Diana Purba, S.Si., M.Pd.
Reviewer	Nurhasanah Siregar, S.Pd., M.Pd. Dr. Izwita Dewi, M.Pd. Mangaratua M. Simanjorang, M.Pd., Ph.D. Dr. KMS. Amin Fauzi, M.Pd. Dr. Mulyono, M.Si. Dr. Hamidah Nasution, S.Si., M.Si. Didi Febrian, S.Si., M.Sc. Dian Septiana, S.Pd., M.Sc. Dr. Faiz Ahyaningsih, M.Si. Said Iskandar Al Idrus, S.Si., M.Si. Dr. Arnita Sudianto Manullang, S.Si., M.Si. Susiana, S.Si., M.Si.

Pengarah

Dr. Ani Sutiani, M.Si.

Penanggung Jawab

Dr. Jamalum, M.Si.

Dr. Dewi Wulandari, S.Si., M.Si.

Dr. Rahmatsyah, M.Si.

Wakil Penanggung Jawab

Dr. Pardomuan Sitompul, M.Si.

Dr. Lasker P Sinaga, S.Si., M.Si.

Nurhasanah Siregar, S.Pd., M.Pd.

Dr. Hamidah Nasution, S.Si., M.Si.

Said Iskandar Al Idrus, S.Si., M.Si.

Sudianto Manullang, S.Si., M.Si.

Didi Febrian, S.Si., M.Sc.

Ketua

Yulita Molliq Rangkuti, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Sekretaris

Elfitra, S.Pd., M.Si.

Bendahara

Arnah Ritonga, S.Si., M.Si.

Kesekretariatan

Nadrah Afiati Nasution, M.Pd.

Nurul Ain Farhana, M.Si.

Imelda Wardani Rambe, M.Pd.

Dian Septiana, S.Pd., M.Sc.

Seksi Acara

Ade Andriani, S.Pd., M.Si.

Dra. Nurliani Manurung, M.Pd.

Dra. Katrina Samosir, M.Pd.

Kairuddin, S.Si., M.Pd.

Ichwanul Muslim Karo Karo, M.Kom.

Publikasi dan Registrasi

Sri Dewi, M.Kom.

Fanny Ramadhani, S.Kom., M.Kom.

Konsumsi

Faridawaty Marpaung, S.Si., M.Si.

Marlina Setia Sinaga, S.Si., M.Si.

Erlinawaty Simanjuntak, S.Pd., M.Si.

Promosi dan Humas

Dedy Kiswanto, S.Kom., M.Kom.

Tiur Malasari Siregar, S.Pd., M.Si.

Sri Lestari Manurung, S.Pd., M.Pd.

Dokumentasi

Rizki Habibi, S.Pd., M.Si.

Logistik

Muhammad Badzlan Darari, S.Pd., M.Pd.

Putri Harliana, S.T., M.Kom.

Philips Pasca G. Siagian, S.Pd., M.Pd.

DAFTAR ISI

Kata Pengantar.....	i
Invite Speaker	ii
Editorial Team.....	iii
Daftar Isi	v

Daftar Artikel

Pembangunan Script Python untuk Menunjukkan Solusi dari Persamaan Diferensial Menggunakan Metode Extended Runge-Kutta Khan A. J. M, Rangkuti Y. M., Nianda N., Hidayanti R.....	1
Pengembangan LKPD Berbasis PBL Untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis Siswa SMP Saragih, B. M., & Fuazi, M. A	12
Pengambilan Keputusan Pemberian Kredit Menggunakan Metode Fuzzy Weighted Product Pada KSP3 Nias Cabang Gunungsitoli Hutapea, T.A., & Lase, K.N.....	22
Peramalan Tingkat Inflasi Indonesia Menggunakan Machine Learning Dengan Metode Backpropagation Neural Network Situngkir, K. M.	31
Pengembangan Media Pembelajaran Matematika Berbasis Video Menggunakan Aplikasi Canva Untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Matematika Peserta Didik Siregar, A. V. & Sitompul, P.....	41
Pengembangan Aplikasi Edutainment Berbasis Game Based Learning untuk Meningkatkan Kemampuan Spasial Matematis Siswa SMA Syaputra, F., & Siregar, T. M.....	51
Pengaruh Pendekatan Matematika Realistik Berbantuan GeoGebra Terhadap Kemampuan Berpikir Komputasi Peserta Didik Kelas VIII Saragih, C. A.Z. & Simanjuntak, E	61
Respon Positif Model Pembelajaran PMRI Berbasis Batak Toba Untuk Meningkatkan Kemampuan HOTS Silaban, P. J., Sinaga, B., & Syahputra, E	70
Optimalisasi Pemahaman Konsep Matematis: Pengembangan Media E-Komik Digital Berbasis Pendekatan RME pada Siswa SMP PTPN IV Dolok Sinumbah Limbong, D. K., & Fauzi, M. A	80
Revolusi Pembelajaran Matematika: Pengembangan E-Modul Interaktif dengan Model SAVI untuk Siswa SMP Purba, I. N., & Hia, Y	89

Perancangan Pemrograman Analisis Dinamika Penyebaran DBD dengan Modifikasi Metode Runge-Kutta Kuntzmann Berbasis Rerata Pangkat $P=1/2$ Azzaki, F. A., Sinabariba, A. A., & Azzahra, D. P.	96
Deep Learning untuk Matematika: Pengenalan Rumus dengan Convolutional Neural Network Tampubolon, A. P. H. S. M	105
Pengaruh Model Pembelajaran PBL Berbantuan Canva terhadap Hasil Belajar HOTS Materi Menggunakan Data Kelas VII Anaiyah, N	115
Pengaruh Model Pembelajaran Kooperatif Tipe The Power of Two Terhadap Keahlian Komunikasi Matematis Siswa Siahaan, E. E., Manurung, N., & Siagian, P. P. G.	122
Optimasi Jumlah Produksi Toko Kuala Jaya Menggunakan Metode Branch and Bound (Studi Kasus: Toko Kuala Jaya, Pantai Labu) Pandiangan, W. P.	130
Pengelompokan Pasien dengan Faktor Penyakit Jantung Menggunakan Metode Principal Component Analysis dan K Nearest Neighbors Hutapea, B. A.	139
Perbandingan Proporsionalitas Metode Sainte-Laguë dan D'Hondt dalam Penentuan Alokasi Kursi Legislatif Menggunakan Indeks Least Squares Wulandari, G. A., & Sutanto	148
Penentuan Penerima Bantuan Langsung Tunai Dana Desa Menggunakan Metode Fuzzy Analytical Hierarchy Process (AHP) Lumbanraja, I. A., & Hutapea, T. A.	157
Maksimalisasi Keuntungan pada UMKM Batagor dan Tahu Walik Menggunakan Metode Simpleks dan POM-QM Maria, N. S., Marbun, M., Zendrato, M. A., Silalahi, N. D., Zandroto, N., Rizki, P., & Tarigan, P.	166
Optimalisasi Produksi Bakpao dengan Program Linier Menggunakan Metode Simpleks pada Usaha Bakpao Jumat Berkah Saragih, A. G., Wardana, A., Khumairah, A., Adhawina, R., Gisty, R. A., Angraini, S., & Simanjuntak, E.	174
Pengaruh Pendekatan Matematika Realistik Berbantuan Macromedia Flash Terhadap Kemampuan Koneksi Matematis Siswa Kelas VIII SMP Negeri 1 Nibung Hangus) Wahyuni, S., & Nasution, H.	180
Maksimasi Keuntungan Dari Penjualan Freenchies Tahu.Go Outlet Tempuling Dengan Menggunakan Linear Programming Metode Simpleks dan Aplikasi Operational Research Tarigan, G. H., Putri, I., Simanungkalit, I., Sitepu, I. D. A., Khafifah, S., Tampubolon, S. T. V., & Simbolon, S. S. D.	189

Pengembangan Hypoyhetical Learning Trajectory untuk Mendukung Pemahaman Konsep Luas Bangun Datar pada Siswa Kelas VII

Kasiani, P. & Nasution, A. A...... 197

Pembangunan Syntax Python berbasis Metode Runge Kutta Orde Kelima Tahap Keenam untuk Menyelesaikan Masalah Nilai Awal

Manurung, E. V., Rangkuti, Y. M., Faris, M., & Lestari, D...... 208

Pembangunan Python Script berdasarkan Metode Runge-Kutta Orde Lima berbasis pada Rata-rata Heronian untuk Menyelesaikan Model Lengan Robot yang diperkecil

Gultom, J. M., Permadi, W. W., Pohan, N. R. K., & Rangkuti, Y. M...... 216

Pembangunan syntax Python berbasis Metode Modifikasi Runge-Kutta Verner untuk menunjukkan perilaku bulliying

Ramadhan, R., Rangkuti, Y. M., Paul, I., & Calista, A...... 224

Pembangunan Algoritma Runge-Kutta Fehlberg dengan Python untuk menyelesaikan Sistem Osilasi Harmonik

Fahrezi, B. A., Istiara, S., M Siregar, M. R. D., & Rangkuti, Y. M...... 232

Klasifikasi Kerusakan pada Gigi Manusia dengan Menggunakan Metode Ekstraksi Fitur Hybrid dan Algoritma KNN

Pohan, N. R. K., Fadluna, E. P., Ananda, D., & Kiswanto, D...... 240

Analisis Dinamik Sistem Reaksi Difusi Model Fitzhugh–Nagumo

Manurung, D. R. M., & Sitompul, P...... 250

Estimator Modified Jackknife untuk Mengatasi Multikolinieritas pada Regresi Poisson (Studi Kasus: Angka Kematian Bayi di Provinsi Sumatera Utara)

Nadya, F., & Manulang, S...... 261

Peran Etnomatematika Budaya Melayu Terhadap Pembelajaran Matematika di Sekolah

Wahyuni, F...... 273

Filosofi Pembelajaran Berdifferensiasi Dalam Pembelajaran Matematika Ditinjau dari Kearifan Lokal Batak Toba

Simanjuntak, S. D. & Sitepu, I...... 283

Strategi Optimalisasi Keuntungan Usaha Jus Buah melalui Metode Simpleks

Siagian, J. A., Naibaho, J. S., Lestari, J. A., Lubis, S. I. A. R., Sidauruk, V. P., Saputra, Y. A., & Simanjuntak, E...... 290

Model Regresi Data Panel dalam Menentukan Faktor yang Berpengaruh Terhadap Tingkat Stunting di Provinsi Sumatera Utara

Dalimunthe, I. Z., & Simamora, E...... 296

Analisis Kesalahan Siswa dalam Menyelesaikan Masalah Geometri Menggunakan Newman Error Analysis (NEA) pada Pendekatan Matematika Realistik Di SMP Negeri 43 Medan

Wibowo, M. R. & Fauzi, M. A...... 304

Implementasi Metode Shannon-Runge-Kutta-Gill dalam Model SIR untuk Prediksi Penyebaran COVID-19: Pendekatan Numerik dengan Python Hidayat, M. F., Rangkuti, Y. M., Nasution, S. A. B., & Ginting, J. A. P.	316
Pengembangan Video Pembelajaran Matematika Berbasis Model Pembelajaran Kooperatif Tipe STAD untuk Meningkatkan Motivasi Belajar Siswa SMP Kelas VIII Sinaga, E. P., & Sitompul. P.	326
Pengoptimalan Seleksi Tim PON Esports Mobile Legends Perwakilan Sumatera Utara Menggunakan Metode Algoritma Genetika dan Regresi Linear Berganda Silitonga, R. & Febrian, D.	335
Optimalisasi Pemilihan Pupuk Sawit Terbaik di PTPN IV Marihat dengan Metode WASPAS Parinduri, M.A. & Sinaga, L. P.	345
Pengembangan E-Modul Berbasis STEAM Untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis Siswa Di SMP Negeri 1 Patumbak Nasution, N. H., & Samosir, K.	351
Penggunaan Metode Simpleks dalam Mengoptimalkan Keuntungan Penjualan Es Kul-Kul Waruwu, F., Andini, C. R., Simamora, D. K., Febrianti, D. A., Simamora, E. F., Tambunan, E. E., & Silaban, G. S.	360
Pengaruh Model Pembelajaran Discovery Learning Berbantuan Geogebra terhadap Kemampuan Penalaran Matematis Siswa Kelas VIII SMPN 35 Medan Bakara, N. E. E.	367
Pemodelan Waktu Keberangkatan Bus pada Angkutan antar Kota antar Provinsi Jalur Semarang- Surabaya Menggunakan Aljabar Max-Plus Muzammil, A., & Arifin, A. Z.	374
Pembangunan Python Berdasarkan Metode Runge-Kutta Order Keempat Berbasis Rataan Harmonik Untuk Menunjukkan Perilaku Chaotic Sistem Rossler Tambunan, L., Sidabutar, Y. S. M., Harahap, J. & Rangkuti, Y. M.	380
Implementasi Graf Dan Metode Webster Dalam Optimasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas (Studi Kasus: Simpang Pemda Flamboyan Raya) Manurung, Y. T. F., & Hutabarat, H. D. M.	389
Etnomatematika Alat Musik Simalungun Gondang Sipitupitu Situngkir, F. L., Gultom, S., & Simanjorang, M.	396
Pembangunan Algoritma Metode Runge-Kutta Orde Ketiga Rataan Aritmatika untuk melihat dinamika Penyebaran penyakit Demam Berdarah Manurung, G. K. D., Safitri, E., Sibarani, R. H. R., & Rangkuti, Y. M.	403
Upaya Meningkatkan Kemampuan Representasi Matematis Peserta Didik Kelas VII Menggunakan Model Pembelajaran Kontekstual Handari, I. S. & Sitompul, P.	413

Simulasi Monte Carlo dalam Memprediksi Distribusi Kursi DPR RI Jawa Tengah dengan Metode Sainte-Lague Iriantini, D. S. & Sutanto.	421
Penerapan Fuzzy Logic Tsukamoto dalam Memprediksi Jumlah Stok CPO Tahun 2024 di PTPN IV Unit Dolok Ilir Anggriani, D. & Hutapea, T. A.	431
Aplikasi Model ARIMA dan Modifikasinya dalam Peramalan Jumlah Penumpang di Pelabuhan Tanjung Perak Rizal, J., Lestari, S. P., & Tolok A. N.	439
Prediksi Harga Penutupan Saham BBKA dan BBNI dengan Algoritma K-Nearest Neighbor Saragih, E. N.	452
Perbedaan Kemampuan Komunikasi Matematis Peserta didik Menggunakan Model PBL dan Model DL Hutahaean, B. N., & Widyastuti, E.	461
Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif Berbantuan Articulate Storyline Untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah pada Peserta Didik Kelas XI SMA Debora, C. E., & Siagian, P.	465
Studi Literatur: Inovasi Pembelajaran Matematika pada Era Kolaboratif Tania, W. P.	471
Efektivitas LKPD Berbantuan Classpoint untuk Meningkatkan Minat Belajar Siswa Kelas VIII Cahyani, A. P. R., & Siregar, T. M.	479
Pengembangan Media Interaktif Berbasis Android Berbantuan Articulate Storyline Untuk Meningkatkan Kemampuan Penalaran Matematis Pane, A. W. S., & Purba, G. I. D.	486
Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Laptop Terbaik dengan Pendekatan Gabungan AHP dan TOPSIS (Studi Kasus: FMIPA UNIMED). Tampubolon, J.	494
Pembelajaran Aljabar di SMP Dengan Pendekatan Game melalui Metode Drill and Practice dalam Pengembangan Aplikasi Cymath Lubis, R. A., Irvan, & Azis, Z.	505
Analisis Kecanduan Game Online dengan Model SEIPTR Carli, S. G., & Sinaga, L. P.	515
Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Web dengan Pendekatan Problem Based Learning (PBL) pada Materi Scratch Kelas VII SMP Ahmad, F. L., Nugroho, A. L., Anjarsari, D. D., Rahmayanti, R., & Ningrum, G. D. K.	527

Upaya Meningkatkan Pemahaman Konsep Matematika pada Peserta Didik Autisme melalui Explicit Instruction dengan Media Permainan Edukatif Agustia, A.	536
Analisis Perbandingan Proporsionalitas Metode Andre Sainte-Lague dan Modifikasinya pada Alokasi Kursi Pemilu Legislatif DPR RI Jawa Tengah 2024 Fourindira, D. A. & Sutanto	545
Pengembangan Media Pembelajaran Web Interaktif Menggunakan Pendekatan Berdiferensiasi Pada Elemen Teknologi Informasi Dan Komunikasi Dengan Model Problem Based Learning Alfan, M., Faisal, R., & Aprilianto, P.	556
Penerapan Regresi Semiparametrik Spline Truncated dalam Memodelkan Angka Harapan Hidup di Sumatera Utara Wulan, C. W. & Mansyur, A.	567
Analisis Prediksi Saham Emas PT Aneka Tambang (Tbk) Menggunakan Long Short-Term Memory (LSTM) dan Gated Recurrent Unit (GRU) Luxfiati, N. A., & Bustamam, A.	578
Penerapan Algoritma Genetika Dalam Optimasi Komposisi Menu Makanan bagi Penderita Stroke Ritonga, Y. A. & Ahyaningsih, F.	584
Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Ekonomi di Sumatera Utara Menggunakan Regresi Data Panel Naibaho, H. M., & Khairani, N.	593
Peningkatan Kemampuan Komunikasi Matematis Peserta Didik Kelas X dengan Pembelajaran Berbasis Proyek Kolaboratif Berbantuan Media Canva Saragih, G. P.	601
Implementasi Pembelajaran Kooperatif Tipe TGT Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Matematika Siswa SMP Islam Al-Fadhli Cindey, T. A. M., & Hasratuddin	611
Pengembangan E-Modul Berbasis Smart Apps Creator 3 untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis Peserta Didik Kelas VIII MTs Zain, D. & Kairuddin	621
Analisis Kesulitan Siswa dalam Menyelesaikan Soal Program Linier Berbantuan Kalkulator Grafik di Kelas XI Elfina, H.	631
Pengembangan Media Pembelajaran Matematika Berbasis Komik Digital Untuk Meningkatkan Minat Belajar Siswa Kelas VII SMP Negeri 17 Medan Banurea, L. K., & Siregar, T. M.	642

Pengaruh Model Pembelajaran Kooperatif Tipe Jigsaw Terhadap Kemampuan Koneksi Matematis Siswa SMP Negeri 15 Medan Hutagalung, A. F. S., & Siregar, N.	651
Pengaruh Kepercayaan Diri (Self Confidence) terhadap Hasil Belajar Matematika Siswa Ginting, E. R., & Simanjorang, M. M.	662
Penerapan Pembelajaran Kontekstual Berbantuan Aplikasi Desmos untuk Meningkatkan Kemampuan Komunikasi Matematis Siswa SMA Elfani, E.	669
Analisis Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis Siswa Ditinjau dari Gaya Belajar yang Dibelajarkan dengan Model PBM Sinaga, A. P., & Simanullang, M. C.	679
Pemetaan Tenaga Kesehatan di Provinsi Sumatera Utara Menggunakan Metode Multidimensional Scaling Silaban, A. & Susiana	687
Pengembangan Video Pembelajaran Matematika Menggunakan Powtoon untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis Siswa di SMP Negeri 1 Kuala Fazriani, A., & Sagala, P. N.	697
Penerapan Metode Adams-Bashfort-Moulton pada Persamaan Logistik dalam Memprediksi Pertumbuhan Penduduk di Provinsi Sumatera Utara Hasibuan, Z. A. E., & Ritonga, A.	705
Efektivitas Model Pembelajaran Discovery Learning Terhadap Kemampuan Literasi Numerasi Siswa Kelas VII Di UPT SMP Negeri 37 Medan Talaumbanua, B. N.	715
Perbedaan Kemampuan Pemecahan Masalah Diajarkan dengan Model Pembelajaran Berbasis Masalah dan Pendidikan Matematika Realistik Indonesia Sipayung, E. N., & Napitupulu, E. E.	721
Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Berbasis Etnomatematika Berbantuan Classpoint untuk Meningkatkan Minat Belajar Siswa Kelas VII Tobing, E. L., & Siregar, T. M.	729
Pengaruh Model Pembelajaran Numbered Head Together Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Matematis Siswa Yuwinda, F., & Napitupulu, E. E.	737
Peran Pendekatan Pembelajaran Matematika Realistik melalui Budaya Melayu pada Pembelajaran Matematika Nasution, H. H.	745
Meningkatkan Penalaran Matematis Siswa SMP melalui Video Animasi Berbasis Problem-Based Learning dengan Animaker Simbolon, P., & Manurung, N.	756

Pembangunan Algoritma Metode Modifikasi Runge-Kutta Menggunakan Kombinasi Deret
Lehmer dengan Python untuk Menyelesaikan Persamaan Diferensial

Ananda, D., Telaumbanua, L. Y., Nazla, K., & Rangkuti, Y. M. 763

Pembelajaran Matematika SD Dengan Model Kontekstual Berbasis Kearifan Lokal Gotong
Royong Pada Suku Batak Toba

Silalahi, T. M. 773

Analisis Regresi Weibull terhadap Determinan Laju Pemulihan Klinis Pasien Penderita
Stroke

Harahap, S., & Febrian, D. 785

Pengembangan Media Matematika Digital Berbasis Pendidikan Matematika Realistik
Untuk Meningkatkan Kemampuan Pemahaman Konsep Matematis Siswa SMP Negeri 16
Medan

Napitupulu, S. S., & Kairuddin. 795

The Effect of The Problem-Based Learning Model on Students' Mathematics Problem
Solving Abilities

Sitinjak, W. B. C., & Napitupulu, E. E. 805

Peran Media Komik Berbasis Budaya Lokal Tapanuli Selatan dalam Pembelajaran
Matematika SD

Siregar, Y. A. 813

Pengembangan LKPD untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik pada
Pembelajaran Kooperatif Tipe Snowball Throwing di Kelas VIII SMP

Zuhrah, S. A. 823

Pembangunan Script Python untuk menunjukkan perbandingan antara Metode RK6,
Metode RK4

Ulwan, M. A. N., Pratiwi, I. A., Suana, M. Z., & Rangkuti, Y. M. 831

Penerapan Metode Naive Bayes dalam Memprediksi Kepuasan Pasien Terhadap
Pelayanan Rumah Sakit (Studi Kasus: Rumah Sakit Umum Haji Medan)

Syadia, R. & Kartika D. 838

Penerapan Rantai Markov dalam Menganalisis Tingkat Persaingan Ojek Online

Saputri, A. N., & Ritonga, A. 844

Pembangunan Python untuk menunjukkan Keakuratan Metode Modifikasi RK4
dibandingkan dengan Metode RK Merson untuk MNA

Fadluna, E. P., Saragih, R. Z. F., Alamsyah, R., & Rangkuti, Y. M. 853

Penerapan Analytical Hierarchy Process dalam Menentukan Pemilihan Dompot Digital (E-
Wallet) yang Terpercaya Pada Sektor UMKM di Kecamatan Percut Sei Tuan

Hartati, S., & Ahyaningsih, F. 861

Pengaruh Model Pembelajaran Kooperatif Tipe Think Talk Write Terhadap Kemampuan
Komunikasi Matematis Siswa SMA Negeri 1 Hamparan Perak

Nabila, F., Surya, E. 871

Analisis Dinamik Sistem Reaksi Difusi Model Fitzhugh–Nagumo

Desy Ruth Meylinda Manurung^{1*}, Pardomuan Sitompul²

^{1,2}Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan,
Medan 20221, Sumatera Utara, Indonesia

*Corresponding Author: rdesy185@gmail.com

Abstrak, sistem saraf adalah jaringan yang sangat kompleks yang bertanggung jawab untuk mengatur semua aktivitas dalam tubuh. Model FitzHugh–Nagumo adalah sistem reaksi-difusi yang digunakan untuk memodelkan konduksi impuls listrik di sepanjang serabut saraf. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh ambang batas a pada model FitzHugh–Nagumo dan mengetahui kestabilan titik kesetimbangan model tersebut. Metode yang digunakan adalah penelitian kepustakaan untuk analisis matematik dan simulasi model. Hasilnya menunjukkan bahwa metode Finite Difference dengan syarat batas Neumann memastikan perubahan potensial membran mengikuti aturan yang diberikan. Sistem potensial membran neuron presinaptik cenderung mengalami repolarisasi dengan peningkatan efek difusi dan hiperpolarisasi dengan peningkatan kecepatan perubahan potensial, namun akan depolarisasi jika keduanya seimbang, sementara sistem potensial membran neuron postsinaptik tetap stabil dan mengalami depolarisasi.

Kata kunci: Fitzhugh–Nagumo; Metode Finite Difference; Sistem Saraf

Abstract, the nervous system is a highly complex network responsible for regulating all activities in the body. The FitzHugh–Nagumo model is a reaction-diffusion system used to model the conduction of electrical impulses along nerve fibers. This study aims to analyze the effect of a threshold on the FitzHugh–Nagumo model and determine the stability of the equilibrium point of the model. The method used is literature research for mathematical analysis and model simulation. The results show that the Finite Difference method with Neumann boundary conditions ensures that membrane potential changes follow a given rule. The presynaptic neuron membrane potential system tends to repolarize with an increase in the diffusion effect and hyperpolarize with an increase in the speed of potential change, but will depolarize if the two are balanced, while the postsynaptic neuron membrane potential system remains stable and depolarizes.

Keywords: Fitzhugh–Nagumo, Finite Difference Method, Neural System

Citation : Manurung, D. R. M., & Sitompul, P. (2024). Analisis Dinamik Sistem Reaksi Difusi Model Fitzhugh–Nagumo. *Prodising Seminar Nasional Jurusan Matematika 2024*. 250 – 260

PENDAHULUAN

Matematika telah memberikan kontribusi besar terhadap kemajuan pengetahuan dan teknologi. Salah satu aspeknya adalah model matematika, yang merupakan bagian penting dari perkembangan ini. Setelah model dibangun, langkah selanjutnya adalah menyelesaikan persamaan yang telah dibuat. Menemukan solusi persamaan ini merupakan langkah penting yang menghubungkan rumus matematika dengan kehidupan nyata. Dengan kata lain pemodelan matematika adalah proses membangun model matematika untuk menggambarkan dinamika suatu sistem (Sutimin, 2007). Pemodelan matematika adalah cabang dari matematika terapan yang sangat penting dan bermanfaat. Salah satu aplikasi pemodelan matematika adalah dalam masalah sistem saraf. Model FitzHugh–Nagumo adalah sistem reaksi-difusi terkenal yang pertama kali diperkenalkan oleh Hodgkin dan Huxley untuk konduksi impuls listrik di sepanjang serabut saraf. Beberapa model matematis untuk neuron biologis yang mewakili perilaku neuron dalam hal potensi membran telah dikembangkan seperti model Hodgkin–Huxley (1952), model FitzHugh (1969), model Morris–Lecar (1981), model Hindmarsh–Rose (1984), khususnya model Hodgkin–Huxley yang menjadi motivasi persamaan

FitzHugh–Nagumo yang mengekstrak perilaku esensial dalam bentuk sederhana. Seperti yang diketahui bahwa difusi ion ada di mana-mana ketika ion melewati sitomembran, jadi haruslah dipertimbangkan efek difusi pada sistem. Hal ini pernah dibahas oleh (Dikansky, 2005), ia menambahkan difusi ke sistem, dan memperoleh sistem reaksi-difusi sebagai berikut.

$$u_t = Du_{xx} + u(1 - u)(u - a(x)) - v \quad (1)$$

$$v_t = \varepsilon(gu - bv - d) \quad (2)$$

Sistem Persamaan Diferensial (SPD) adalah gabungan beberapa persamaan diferensial yang terdiri dari dua atau lebih persamaan yang saling terikat. Suatu SPD dapat diklasifikasikan ke dalam dua kelompok, yaitu SPD linier dan SPD nonlinier. Adapun Bentuk sistem linier persamaan diferensial biasa, persamaan (3) (Perko, 2001), dimana $x \in R^n$ dan A adalah sebuah matriks $n \times n$ persamaan (4)

$$\dot{x} = Ax \quad (3)$$

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} \frac{dx_1}{dt} \\ \vdots \\ \frac{dx_n}{dt} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Kestabilan dari titik kesetimbangan dapat diketahui dari solusi persamaan diferensialnya. Namun, tidak semua persamaan diferensial dapat ditentukan dengan mudah solusi eksaknya. Dalam hal ini, metode pelinieran dapat digunakan untuk menentukan apakah titik kesetimbangan tersebut bersifat stabil atau tidak di sekitar titik kesetimbangan (Boyce, 2001)

Sistem saraf terdiri dari jutaan neuron. Fungsi utama neuron adalah mengirimkan pesan berupa rangsangan atau tanggapan (Oswari, 2008). Organ efektor seperti otot dan kelenjar merupakan sel atau organ yang memberikan respon terhadap rangsangan (Yunita, 2009). Reseptor nyeri, yang juga dikenal sebagai nosiseptor, diaktifkan oleh rangsangan ini dan mengubahnya menjadi impuls saraf yang kemudian ditransmisikan dan diproses oleh sistem saraf pusat (Sukmawati, 2023). Impuls saraf menembus membran sel saraf sebagai potensial aksi. Proses ini didukung oleh adanya reseptor pada membran neuron, sehingga ketika aksoplasma (sitoplasma akson) bergerak, tidak menghalangi transmisi impuls saraf. Potensi aksi terjadi di sepanjang membran sel dan bergantung pada perbedaan konsentrasi ion natrium dan kalium di antara lingkungan intraseluler dan ekstraseluler. Perbedaan konsentrasi ini dipertahankan oleh enzim yang ada di membran sel yang disebut Na-K-ATPase, atau pompa Na-K. Pompa Na-K mengeluarkan tiga ion natrium dari sel dan membawa dua ion kalium ke dalam sel. Perbedaan konsentrasi ini menimbulkan potensial positif di luar membran sel dan potensial negatif di dalam sel.

Tingkat degradasi potensial membran, atau lebih tepatnya kecepatan repolarisasi dan pemulihan potensial membran setelah eksitasi, tidak memiliki nilai tetap yang universal. Ini bervariasi tergantung pada jenis sel (misalnya, neuron, sel otot jantung, dll.), lokasi, serta faktor-faktor lainnya seperti saluran ion dan mekanisme pengaturan. Setelah potensial aksi, membran neuron kembali ke potensial istirahat melalui repolarisasi. Ini terjadi ketika saluran ion natrium (Na^+) tertutup, dan saluran ion kalium (K^+) terbuka, memungkinkan ion K^+ mengalir keluar dari sel, memulihkan kondisi negatif di dalam sel. Durasi repolarisasi di neuron biasanya dalam skala milidetik (1-5 m/s), sementara di sel otot jantung, proses ini bisa memakan waktu 200-300 milidetik tergantung pada jenis sel dan kondisi fisiologis (Susuki, 2008).

Ion Na^+ dengan mudah mengalir keluar dalam otot jantung, maka setelah repolarisasi, terjadi depolarisasi spontan saat ion Na^+ kembali ke dalam sel, yang merupakan fenomena di mana ambang batas dan tegangan beroperasi tanpa rangsangan eksternal. Sel otot jantung yang mencapai nilai ambang batas dan potensial aksi pada laju tetap disebut laju alami atau laju basal membran sel (Irawati, 2015). Adapun kajian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh ambang batas a pada model Fitzhugh-Nagumo dan mengetahui simulasi kestabilan titik kesetimbangan model Fitzhugh-Nagumo pada ambang batas a .

METODE PENELITIAN

Metode dalam penelitian ini ialah studi pustaka atau riset kepustakaan (*Library Research*). Melalui analisis matematis, penelitian ini akan mengeksplorasi dinamika sistem reaksi difusi model FitzHugh-Nagumo dan melakukan simulasi terkait. Data untuk penelitian ini diperoleh dari sumber-sumber seperti buku referensi, jurnal ilmiah, dan dokumen terkait lainnya. Jenis data yang digunakan adalah data sekunder dari hasil penelitian sebelumnya. Berikut langkah-langkah yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian tersebut adalah mengumpulkan teori pendukung, menyajikan sistem reaksi difusi model fitzhugh–nagumo, menentukan titik kesetimbangan sistem reaksi difusi model fitzhugh–nagumo, menganalisis kestabilan titik kesetimbangan dengan melakukan linearisasi menggunakan metode beda *finite difference*, menentukan nilai parameter ε dan D berdasarkan kondisi ambang batas a , melakukan simulasi numerik metode finite difference dengan bantuan matlab dan menarik kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem persamaan FitzHugh-Nagumo (FHN) termasuk dalam kelas umum persamaan difusi reaksi (rd) dengan solusi bergelombang. Ini telah digunakan sebagai sistem rangsang umum untuk menangkap rincian penting tentang pembentukan pola dalam berbagai sistem rangsang, termasuk yang berkaitan dengan konduksi saraf dan jantung, serta sistem ekologi dan kimia.

$$u_t = Du_{xx} + u(1 - u)(u - a) - v \quad (5)$$

$$v_t = \varepsilon(gu - bv - d) \quad (6)$$

Dimana, $u_t = Du_{xx} + u(1 - u)(u - a(x)) - v$; $v_t = \varepsilon(gu - bv - d)$; $u(x, 0) = u_0(x)$; $u(x, 0) = u_0(x)$ dan $u_{x(0,t)} = u_{x(L,t)} = 0$. Untuk perhitungan numerik, sistem FHN diselesaikan di wilayah $x \in [0, L]$ dengan kondisi batas fluks nol dan kondisi awal di $t = 0$. Difusi Spasial D pada dasarnya memengaruhi sejauh mana informasi atau potensial membran dapat merata atau menyebar dalam ruang. Ini adalah faktor penting dalam membentuk pola dan dinamika sistem neuron, dan dapat mempengaruhi bagaimana neuron berinteraksi dan berkomunikasi satu sama lain dalam jaringan. Nilai D yang tinggi dapat menghasilkan efek difusi yang lebih kuat, sementara nilai yang rendah dapat menghasilkan efek difusi yang lebih terlokalisasi atau terbatas. Jika D tinggi, potensial membran u dapat lebih cepat menyebar, memungkinkan neuron untuk berkomunikasi lebih efisien dalam jaringan.

Titik Equilibrium

Ada model matematika Fitzhugh-Nagumo akan dicari titik equilibrium dengan cara membuat sistem tersebut dalam kondisi konstan terhadap waktu, yaitu kondisi dimana:

$$\frac{du}{dt} = 0, \quad \frac{dv}{dt} = 0$$

$$u(1 - u)(u - a) - v = 0$$

$$v = u(1 - u)(u - a)$$

$$v = u; v = (1 - u); v = (u - a)$$

Substitusi nilai v ke persamaan $(gu - bv - d = 0)$. Substitusi nilai $v = u$ persamaan $gu - bv - d = 0$ menjadi $gu - bu - d = 0$ sehingga diperoleh $u = \frac{d}{g-b}$ dan diperoleh nilai $g > b$. Kemudian untuk substitusi nilai $v = (1 - u)$, maka persamaan menjadi $gu - b(1 - u) - d = 0$, akan diperoleh persamaan $u = \frac{b+d}{g+b}$. Selannya jika persamaan disubstitusi nilai $v = (u - a)$ maka persamaan akan menjadi $gu - b(u - a) - d = 0$ dan akan diperoleh persamaan $u = \frac{d-ba}{g-b}$. Adapun untuk mendapatkan solusi dari $u = \frac{d-ba}{g-b}$, $gu - bv - d = 0$ dan $v = \frac{gu-d}{b}$ dan jika disubstitusikan ke $u(1 - u)(u - a) - v = 0$, maka diperoleh $u(1 - u)(u - a) - \frac{gu-d}{b} = 0$. Dengan demikian akan diperoleh nilai u untuk persamaan di atas dan diperoleh 3 solusi yang bisa terjadi yaitu u_1, u_2 dan u_3 .

$$u_1 = \frac{1}{6b} \left(\left(8a^3b - 12a^2b - 12ab - 36ag + 12 \left(-\frac{1}{b} (3(a^4b^3 - 2a^3b^3 - 4a^3b^2d + 2a^3b^2g + a^2b^3 + 6a^2b^2d - 8a^2b^2g + a^2bg^2 + 6ab^2d + 2ab^2g + 18abdg - 10abg^2 - 4b^2d - 27bd^2 + 18bdg + bg^2 - 4ag^3)) \right)^{\frac{1}{2}} + 8b + 108d - 36g \right)^{\frac{1}{3}} + (2(a^2b - ab + b - 3g)) / \left(3 \left(\left(8a^3b - 12a^2b - 12ab - 36ag + 12 \left(-\frac{1}{b} (3(a^4b^3 - 2a^3b^3 - 4a^3b^2d + 2a^3b^2g + a^2b^3 + 6a^2b^2d - 8a^2b^2g + a^2bg^2 + 6ab^2d + 2ab^2g + 18abdg - 10abg^2 - 4b^2d - 27bd^2 + 18bdg + bg^2 - 4ag^3)) \right)^{\frac{1}{2}} + 8b + 108d - 36g \right)^{\frac{1}{3}} \right) \right) + \frac{1}{3} + \frac{a}{3} \right)$$

$$u_2 = -\frac{1}{12b} \left(\left(8a^3b - 12a^2b - 12ab - 36ag + 12 \left(-\frac{1}{b} (3(a^4b^3 - 2a^3b^3 - 4a^3b^2d + 2a^3b^2g + a^2b^3 + 6a^2b^2d - 8a^2b^2g + a^2bg^2 + 6ab^2d + 2ab^2g + 18abdg - 10abg^2 - 4b^2d - 27bd^2 + 18bdg + bg^2 - 4ag^3)) \right)^{\frac{1}{2}} + 8b + 108d - 36g \right)^{\frac{1}{3}} - (a^2b - ab + b - 3g) / \left(3 \left(\left(8a^3b - 12a^2b - 12ab - 36ag + 12 \left(-\frac{1}{b} (3(a^4b^3 - 2a^3b^3 - 4a^3b^2d + 2a^3b^2g + a^2b^3 + 6a^2b^2d - 8a^2b^2g + a^2bg^2 + 6ab^2d + 2ab^2g + 18abdg - 10abg^2 - 4b^2d - 27bd^2 + 18bdg + bg^2 - 4ag^3)) \right)^{\frac{1}{2}} + 8b + 108d - 36g \right)^{\frac{1}{3}} \right) \right) + \frac{1}{3} + \frac{a}{3} + \frac{1}{2} \left(1\sqrt{3} \left(\frac{1}{6b} \left(\left(8a^3b - 12a^2b - 12ab - 36ag + 12 \left(-\frac{1}{b} (3(a^4b^3 - 2a^3b^3 - 4a^3b^2d + 2a^3b^2g + a^2b^3 + 6a^2b^2d - 8a^2b^2g + a^2bg^2 + 6ab^2d + 2ab^2g + 18abdg - 10abg^2 - 4b^2d - 27bd^2 + 18bdg + bg^2 - 4ag^3)) \right)^{\frac{1}{2}} + 8b + 108d - 36g \right)^{\frac{1}{3}} - (2(a^2b - ab + b - 3g)) / \left(3 \left(\left(8a^3b - 12a^2b - 12ab - 36ag + 12 \left(-\frac{1}{b} (3(a^4b^3 - 2a^3b^3 - 4a^3b^2d + 2a^3b^2g + a^2b^3 + 6a^2b^2d - 8a^2b^2g + a^2bg^2 + 6ab^2d + 2ab^2g + 18abdg - 10abg^2 - 4b^2d - 27bd^2 + 18bdg + bg^2 - 4ag^3)) \right)^{\frac{1}{2}} + 8b + 108d - 36g \right)^{\frac{1}{3}} \right) \right) \right)$$

$$\begin{aligned}
 & a^2bg^2 + 6ab^2d + 2ab^2g + 18abdg - 10abg^2 - 4b^2d - 27bd^2 + 18bdg + bg^2 - 4ag^3 \Big)^{\frac{1}{2}} + 8b + 108d - \\
 & 36g \Big)^{b^2} \Big)^{\frac{1}{3}} \Big)^{\frac{1}{3}} \Big)^{\frac{1}{3}} \Big)^{\frac{1}{3}} \Big)^{\frac{1}{3}} \\
 u_3 = & -\frac{1}{12b} \left(\left(8a^3b - 12a^2b - 12ab - 36ag + 12 \left(-\frac{1}{b} (3(a^4b^3 - 2a^3b^3 - 4a^3b^2d + 2a^3b^2g + a^2b^3 + 6a^2b^2d - 8a^2b^2g + \right. \right. \right. \\
 & a^2bg^2 + 6ab^2d + 2ab^2g + 18abdg - 10abg^2 - 4b^2d - 27bd^2 + 18bdg + bg^2 - 4ag^3) \Big)^{\frac{1}{2}} + 8b + 108d - \\
 & 36g \Big)^{b^2} \Big)^{\frac{1}{3}} (a^2b - ab + b - 3g) / \left(3 \left(\left(8a^3b - 12a^2b - 12ab - 36ag + 12 \left(-\frac{1}{b} (3(a^4b^3 - 2a^3b^3 - 4a^3b^2d + \right. \right. \right. \right. \\
 & 2a^3b^2g + a^2b^3 + 6a^2b^2d - 8a^2b^2g + a^2bg^2 + 6ab^2d + 2ab^2g + 18abdg - 10abg^2 - 4b^2d - 27bd^2 + 18bdg + \\
 & bg^2 - 4ag^3) \Big)^{\frac{1}{2}} + 8b + 108d - 36g \Big)^{b^2} \Big)^{\frac{1}{3}} \Big)^{\frac{1}{3}} \Big)^{\frac{1}{3}} \Big)^{\frac{1}{3}} \left(1\sqrt{3} \left(\frac{1}{6b} \left(\left(8a^3b - 12a^2b - 12ab - 36ag + \right. \right. \right. \right. \\
 & 12 \left(-\frac{1}{b} (3(a^4b^3 - 2a^3b^3 - 4a^3b^2d + 2a^3b^2g + a^2b^3 + 6a^2b^2d - 8a^2b^2g + a^2bg^2 + 6ab^2d + 2ab^2g + 18abdg - \right. \\
 & 10abg^2 - 4b^2d - 27bd^2 + 18bdg + bg^2 - 4ag^3) \Big)^{\frac{1}{2}} + 8b + 108d - 36g \Big)^{b^2} \Big)^{\frac{1}{3}} \Big)^{\frac{1}{3}} - (2(a^2b - ab + b - 3g)) / \\
 & \left(3 \left(\left(8a^3b - 12a^2b - 12ab - 36ag + 12 \left(-\frac{1}{b} (3(a^4b^3 - 2a^3b^3 - 4a^3b^2d + 2a^3b^2g + a^2b^3 + 6a^2b^2d - 8a^2b^2g + \right. \right. \right. \right. \\
 & a^2bg^2 + 6ab^2d + 2ab^2g + 18abdg - 10abg^2 - 4b^2d - 27bd^2 + 18bdg + bg^2 - 4ag^3) \Big)^{\frac{1}{2}} + 8b + 108d - \\
 & 36g \Big)^{b^2} \Big)^{\frac{1}{3}} \Big)^{\frac{1}{3}} \Big)^{\frac{1}{3}} \Big)^{\frac{1}{3}} \Big)^{\frac{1}{3}}
 \end{aligned}$$

Pendekatan Numerik Model Fitzhugh-Nagumo

Pada bagian ini, akan dianalisis persamaan (5) dan (6) dengan pendekatan numerik metode *Finite Difference* sehingga diperoleh hasil sebagai berikut. Sehingga dapat ditulis menjadi:

$$\begin{aligned}
 f(x) &= f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0) \\
 f'(x_0) &= \frac{f(x) - f(x_0)}{(x - x_0)} \quad (7)
 \end{aligned}$$

Adapun dengan persamaan (6), untuk turunan keduanya diperoleh,

$$f(x) \approx f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0) + f''(x_0)(x - x_0)^2$$

$$f''(x_0)(x - x_0)^2 \approx f(x_0) + \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0} (x - x_0)$$

$$f''(x_0)(x - x_0)^2 = 2f(x) - 2f'(x_0)$$

$$f'(x_0) = \frac{f(x_0) - f(x_0 - t)}{x_0 - t} \text{ dan } f''(x_0) = \frac{f'(x_0) - f'(x_0 - t)}{x - t} = \frac{\frac{f(x_0 + t) - f(x_0)}{x - t} - \frac{f(x_0) - f(x_0 - t)}{x - t}}{\Delta t}$$

dimana $\Delta t = x - t$, kemudian untuk persamaan (4) diperoleh hasil sebagai berikut.

$$u_t = Du_{xx} + u(1 - u)(u - a) - v$$

$$\begin{aligned}\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t} &= D \left(\frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{\Delta x^2} \right) + u_i^n(1 - u_i^n)(u_i^n - a) - v_i^n \\ u_i^{n+1} - u_i^n &= \Delta t \left[D \left(\frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{\Delta x^2} \right) + u_i^n(1 - u_i^n)(u_i^n - a) - v_i^n \right] \\ u_i^{n+1} &= \Delta t \left[D \left(\frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{\Delta x^2} \right) + u_i^n(1 - u_i^n)(u_i^n - a) - v_i^n \right] + u_i^n\end{aligned}\quad (8)$$

Kemudian untuk persamaan (3) diperoleh hasil sebagai berikut.

$$\begin{aligned}v_t &= \varepsilon(gu - bv - d) \\ \frac{v_i^{n+1} - v_i^n}{\Delta t} &= \varepsilon(gu_i^n - bv_i^n - d) \\ v_i^{n+1} - v_i^n &= \Delta t[\varepsilon(gu_i^n - bv_i^n - d)] \\ v_i^{n+1} &= \Delta t[\varepsilon(gu_i^n - bv_i^n - d)] + v_i^n\end{aligned}\quad (9)$$

Dimana dimisalkan untuk $u_0 = \log(x + 1)$ dan $v_0 = e^{-x}$, dengan kondisi awal; (1) $u(x, 0) = u_0(x)$; (2) $v(x, 0) = v_0(x)$ dan syarat batas Neumann, $u_{x(0,t)} = u_{x(L,t)} = 0$.

Simulasi Matlab

Pada bagian ini diberikan simulasi dari persamaan (8) dan (9). Simulasi numerik dilakukan untuk menggambarkan bagaimana pengaruh efek difusi (D) dan kecepatan perubahan potensial membran (ε) terhadap nilai ambang batas a . Berdasarkan (Dikansky, 2005), didapat bahwa parameter a adalah nilai ambang batas konstan dengan nilai $(0 < a < \frac{1}{2})$. Nilai *threshold* saraf (ambang eksitasi) adalah tingkat potensial membran yang harus dicapai untuk memicu potensial aksi, yang merupakan sinyal listrik yang digunakan neuron untuk berkomunikasi.

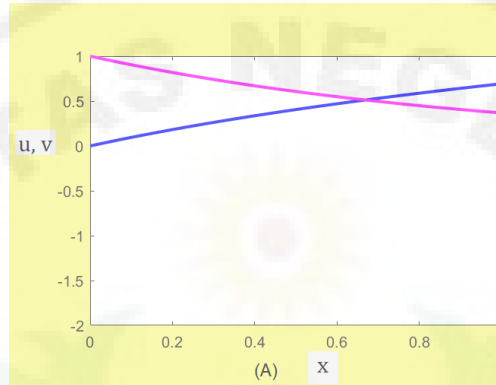
Ketika potensial membran suatu neuron mencapai nilai *threshold* ini, saluran ion natrium (Na^+) pada membran sel akan terbuka, memungkinkan ion natrium mengalir ke dalam sel, sehingga terjadi depolarisasi cepat dan menghasilkan potensial aksi. Setelah potensial aksi terjadi, neuron akan mengalami repolarisasi dan kembali ke nilai potensial istirahatnya. Kemudian siap untuk diaktifkan kembali. Jadi, nilai *threshold* saraf di-excite adalah titik kritis yang menentukan apakah sebuah neuron akan menghasilkan potensial aksi sebagai respons terhadap rangsangan yang diterimanya. Berdasarkan persamaan $u = \frac{a}{g-b}$, diperoleh bahwa $g > b$. Parameter a adalah nilai ambang batas konstan dengan nilai $(0 < a < \frac{1}{2})$.

Tabel 1. Nilai Parameter

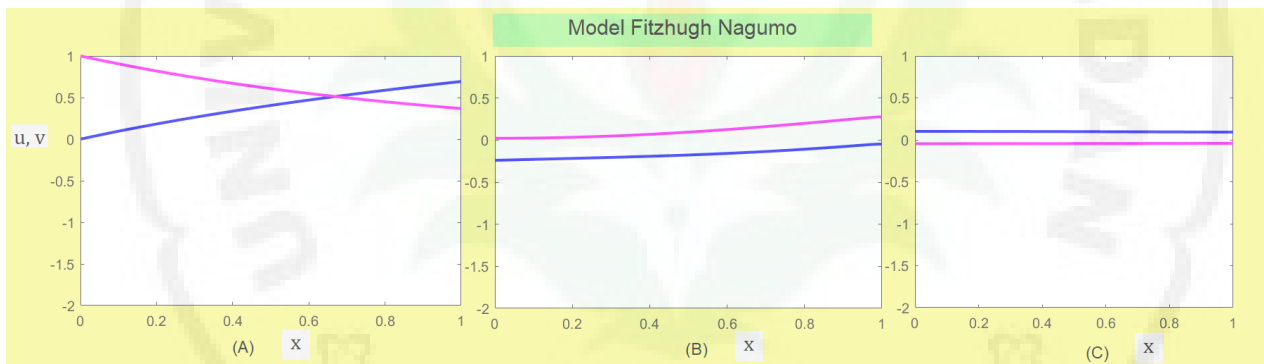
Parameter	Kasus I	Kasus II	Kasus III	Kasus IV	Kasus V	Kasus VI
a	0,5	0,5	0,5	0,75	0,75	0,75
g	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
b	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
d	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
D	0,05	0,075	0,05	0,05	0,05	0,075
ε	0,05	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05

Adapun untuk kondisi awal, diasumsikan $u_0 = \log(x + 1)$ dan $v_0 = e^{-x}$, dengan syarat batas Neumann, $u_{x(0,t)} = u_{x(L,t)} = 0$. Berdasarkan gambar 1 diperoleh bahwasanya untuk kondisi awal $u(x, 0)$ menggambarkan Potensial membran di sepanjang membran sel neuron menghasilkan sinyal atau aksi potensial mengubah potensial membran istirahat dan memungkinkan Na^+ (natrium) mengalir dengan cepat ke dalam sel melalui saluran natrium sehingga tegangan ambang akan

meningkat. Untuk kondisi awal $v(x, 0)$ mencerminkan kemampuan neuron postsinaptik untuk merespons sinyal dari neuron presinaptik dimana aliran ion kalsium melambat hingga terhenti, namun aliran ion kalium mengalir keluar membran sel terus berlanjut sehingga menyebabkan potensial membran menurun (lebih negatif).



Gambar 1. Model Fitzhugh Nagumo Dengan Kondisi Awal $u(x, 0)$ dan $v(x, 0)$

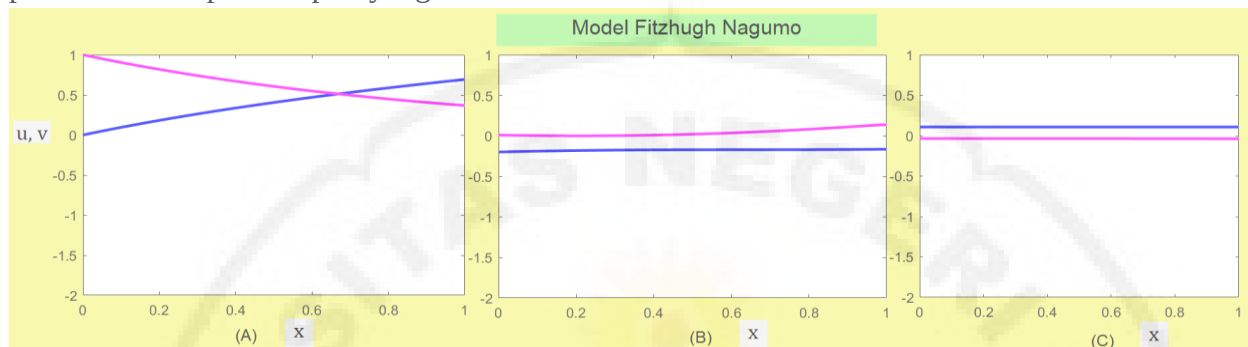


Gambar 2. Model Fitzhugh Nagumo Dengan Menggunakan Metode Beda Hingga dengan $D = 0.05$ dan $\varepsilon = 0.05$

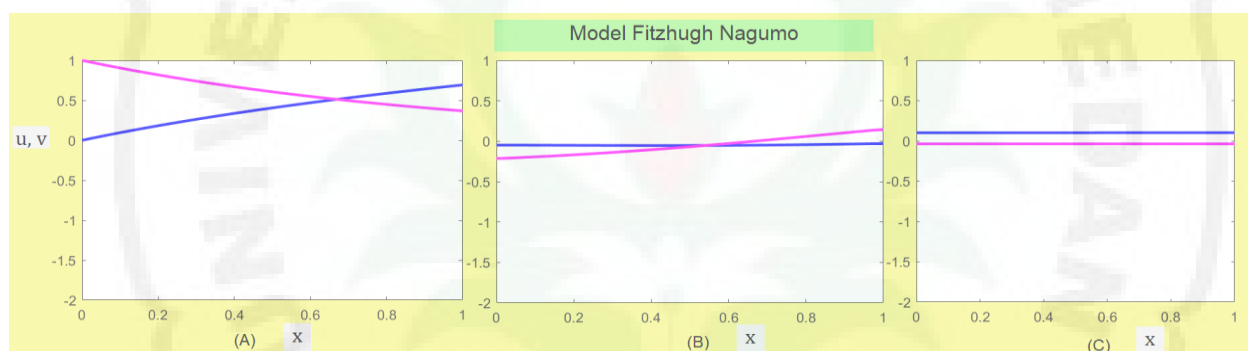
Dari gambar 2 menunjukkan grafik hasil dari $u(x, t)$ dan $v(x, t)$ yang dimulai dengan nilai awal $u(x, 0) = \log(x + 1)$ dan $v(x, 0) = e^{-x}$ dengan menggunakan metode beda hingga. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa $u(x, t)$ (potensial membran neuron presinaptik) mengalami penurunan dengan mengalami fase depolarisasi dan $v(x, t)$ (potensial membran neuron postsinaptik) mengalami penurunan dengan fase depolarisasi pada iterasi ke 35. Kemudian potensial membran stabil, $u(x, t)$ dan $v(x, t)$ mengalami fase polarisasi (istirahat). Jika efek difusi dan kecepatan perubahan potensial sama maka Impuls saraf pada membran presinaptik mengalami percepatan dalam mengubah energi listrik dengan proses pengeluaran neuron transmitter yang kemudian pada membran postsinaptik juga mengalami percepatan dalam mengubah kembali energi listrik menjadi impuls yang diteruskan ke otak.

Dari gambar 3 menunjukkan grafik hasil dari $u(x, t)$ dan $v(x, t)$ yang dimulai dengan nilai awal $u(x, 0) = \log(x + 1)$ dan $v(x, 0) = e^{-x}$ dengan menggunakan metode beda hingga. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa $u(x, t)$ (potensial membran neuron presinaptik) mengalami penurunan dengan mengalami fase polarisasi dan $v(x, t)$ (potensial membran neuron postsinaptik) mengalami penurunan dengan fase depolarisasi pada iterasi ke 35. Kemudian potensial membran stabil, $u(x, t)$ dan $v(x, t)$ mengalami fase polarisasi (istirahat). Jika efek difusi dinaikkan ke 0.075 dan kecepatan perubahan potensial 0.05 maka impuls saraf pada membran presinaptik tidak mengalami perubahan yang artinya setelah pengeluaran neuron transmitter, impuls dalam keadaan

normal namun hal ini berdampak pada percepatan pengubahan neuron transmitter menjadi impuls pada membran postsinaptik yang diteruskan ke otak.



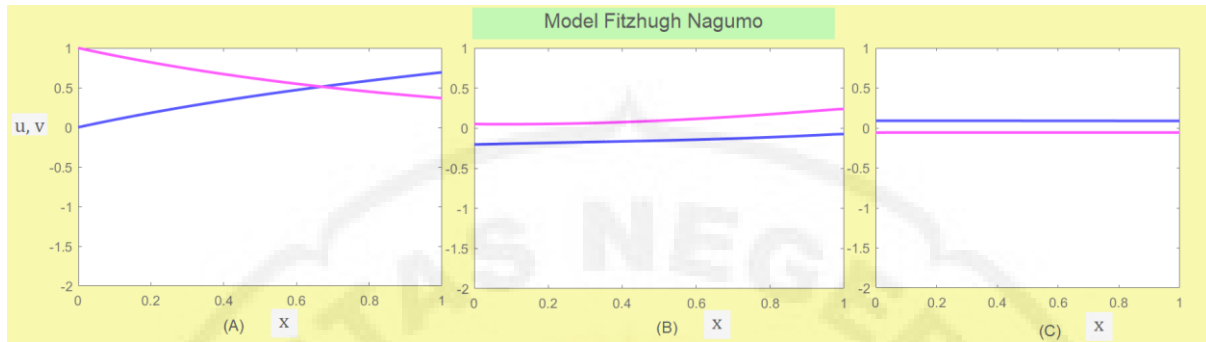
Gambar 3. Model Fitzhugh Nagumo Dengan Menggunakan Metode Bada Hingga dengan $D = 0.075$ dan $\varepsilon = 0.05$



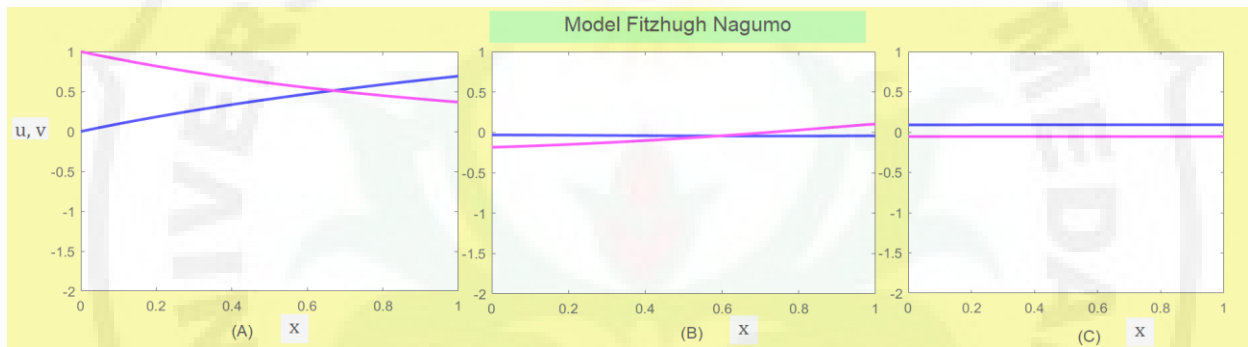
Gambar 4. Model Fitzhugh Nagumo Dengan Menggunakan Metode Bada Hingga dengan $D = 0.05$ dan $\varepsilon = 0.1$

Dari gambar 4 menunjukkan grafik hasil dari $u(x, t)$ dan $v(x, t)$ yang dimulai dengan nilai awal $u(x, 0) = \log(x + 1)$ dan $v(x, 0) = e^{-x}$ dengan menggunakan metode beda hingga. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa $u(x, t)$ (potensial membran neuron presinaptik) mengalami penurunan dengan mengalami fase hiperpolarisasi dan $v(x, t)$ (potensial membran neuron postsinaptik) mengalami penurunan dengan fase depolarisasi pada iterasi ke 35. Kemudian potensial membran stabil, $u(x, t)$ dan $v(x, t)$ mengalami fase polarisasi (istirahat). Jika efek difusi 0.05 dan kecepatan perubahan potensial dinaikkan ke 0.1 maka impuls saraf pada membran presinaptik mengalami perubahan hiperpolarisasi yang artinya setelah pengeluaran neuron transmitter, impuls mengalami perlambatan sampai kembali ke keadaan normal dan pada percepatan pengubahan neuron transmitter menjadi impuls pada membran postsinaptik yang diteruskan ke otak.

Dari gambar 5 menunjukkan grafik hasil dari $u(x, t)$ dan $v(x, t)$ yang dimulai dengan nilai awal $u(x, 0) = \log(x + 1)$ dan $v(x, 0) = e^{-x}$ dengan menggunakan metode beda hingga. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa $u(x, t)$ (potensial membran neuron presinaptik) mengalami penurunan dengan mengalami fase depolarisasi dan $v(x, t)$ (potensial membran neuron postsinaptik) mengalami penurunan dengan fase depolarisasi pada iterasi ke 35. Kemudian potensial membran stabil, $u(x, t)$ dan $v(x, t)$ mengalami fase polarisasi (istirahat). Jika efek difusi dan kecepatan perubahan potensial sama maka Impuls saraf pada membran presinaptik mengalami percepatan dalam mengubah energi listrik dengan proses pengeluaran neuron transmitter yang kemudian pada membran postsinaptik juga mengalami percepatan dalam mengubah kembali energi listrik menjadi impuls yang diteruskan ke otak.

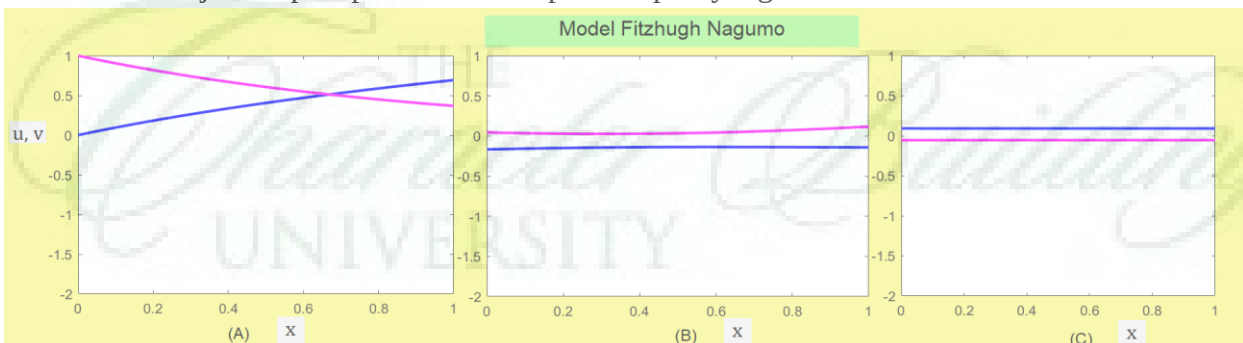


Gambar 5. Model Fitzhugh Nagumo Dengan Menggunakan Metode Bada Hingga dengan $D = 0.05$ dan $\varepsilon = 0.05$



Gambar 6. Model Fitzhugh Nagumo Dengan Menggunakan Metode Bada Hingga dengan $D = 0.05$ dan $\varepsilon = 0.1$

Dari gambar 6 menunjukkan grafik hasil dari $u(x, t)$ dan $v(x, t)$ yang dimulai dengan nilai awal $u(x, 0) = \log(x + 1)$ dan $v(x, 0) = e^{-x}$ dengan menggunakan metode beda hingga. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa $u(x, t)$ (potensial membran neuron presinaptik) mengalami penurunan dengan mengalami fase hiperpolarisasi dan $v(x, t)$ (potensial membran neuron postsinaptik) mengalami penurunan dengan fase depolarisasi pada iterasi ke 35. Kemudian potensial membran stabil, $u(x, t)$ dan $v(x, t)$ mengalami fase polarisasi (istirahat). Jika efek difusi 0.05 dan kecepatan perubahan potensial dinaikkan ke 0.1 maka impuls saraf pada membran presinaptik mengalami perubahan hiperpolarisasi yang artinya setelah pengeluaran neuron transmitter, impuls mengalami perlambatan sampai kembali ke keadaan normal dan pada percepatan pengubahan neuron transmitter menjadi impuls pada membran postsinaptik yang diteruskan ke otak.



Gambar 7. Model Fitzhugh Nagumo Dengan Menggunakan Metode Bada Hingga dengan $D = 0.075$ dan $\varepsilon = 0.05$

Dari gambar 7 menunjukkan grafik hasil dari $u(x, t)$ dan $v(x, t)$ yang dimulai dengan nilai awal $u(x, 0) = \log(x + 1)$ dan $v(x, 0) = e^{-x}$ dengan menggunakan metode beda hingga. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa $u(x, t)$ (potensial membran neuron presinaptik) mengalami

penurunan dengan mengalami fase repolarisasi dan $v(x, t)$ (potensial membran neuron postsinaptik) mengalami penurunan dengan fase depolarisasi pada iterasi ke 35. Kemudian potensial membran stabil, $u(x, t)$ dan $v(x, t)$ mengalami fase polarisasi (istirahat). Jika efek difusi dinaikkan ke 0.075 dan kecepatan perubahan potensial 0.05 maka impuls saraf pada membran presinaptik mengalami perubahan yang artinya setelah pengeluaran neuron transmitter, impuls dalam keadaan normal namun hal ini berdampak pada percepatan pengubahan neuron transmitter menjadi impuls pada membran postsinaptik yang diteruskan ke otak.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian, diperoleh ialah pendekatan numerik metode *Finite Difference* digunakan untuk menganalisis persamaan diferensial parsial (PDE) Fitzhugh-Nagumo, yang menggambarkan dinamika potensial membran neuron. Dengan mendiskretkan ruang dan waktu, turunan parsial pertama dan kedua dari variabel u dan v diaproksimasi menggunakan skema selisih hingga. Persamaan u dan v kemudian diurai menjadi bentuk diskret yang memungkinkan iterasi waktu untuk menghitung nilai u dan v pada setiap titik dalam domain spasial dan temporal. Implementasi numerik ini melibatkan inisialisasi dengan kondisi awal yang ditentukan dan penerapan syarat batas Neumann untuk memastikan bahwa perubahan potensial membran pada batas-batas domain mengikuti aturan yang diberikan. Dengan cara ini, metode numerik *Finite Difference* memberikan wawasan penting tentang perilaku kompleks sistem saraf dan mekanisme regulasi ritme biologis.

Analisis ini membantu memahami bagaimana parameter-parameter sistem dapat diatur untuk mempengaruhi pola aktivitas neuron, yang berpotensi memberikan kontribusi signifikan dalam penelitian neurofisiologi dan pengembangan intervensi terapeutik untuk gangguan neurologis. Berdasarkan simulasi model Fitzhugh Nagumo pada ambang batas a dengan iterasi waktu ke-35 jika nilai ambang batas a ($0 < a < \frac{1}{2}$) diperoleh bahwa sistem u cenderung mengalami repolarisasi apabila efek difusi ditingkatkan dan mengalami hiperpolarisasi apabila kecepatan perubahan potensial ditingkatkan. Namun sistem u akan mengalami fase depolarisasi apabila nilai dari efek difusi dan kecepatan perubahan potensial sama. Sedangkan untuk sistem v tidak mengalami gangguan apabila parameter efek difusi dan kecepatan perubahan potensial diubah, sistem akan tetap mengalami fase depolarisasi. Pada iterasi ke-500, sistem u dan v akan stabil atau mengalami fase istirahat. Model Fitzhugh-Nagumo dapat diperluas kembali dengan menambahkan faktor kecepatan respon saraf terhadap stimulus yang diberikan dan memberikan fungsi ambang batas yang relevan dengan model.

UCAPAN TERIMA KASIH

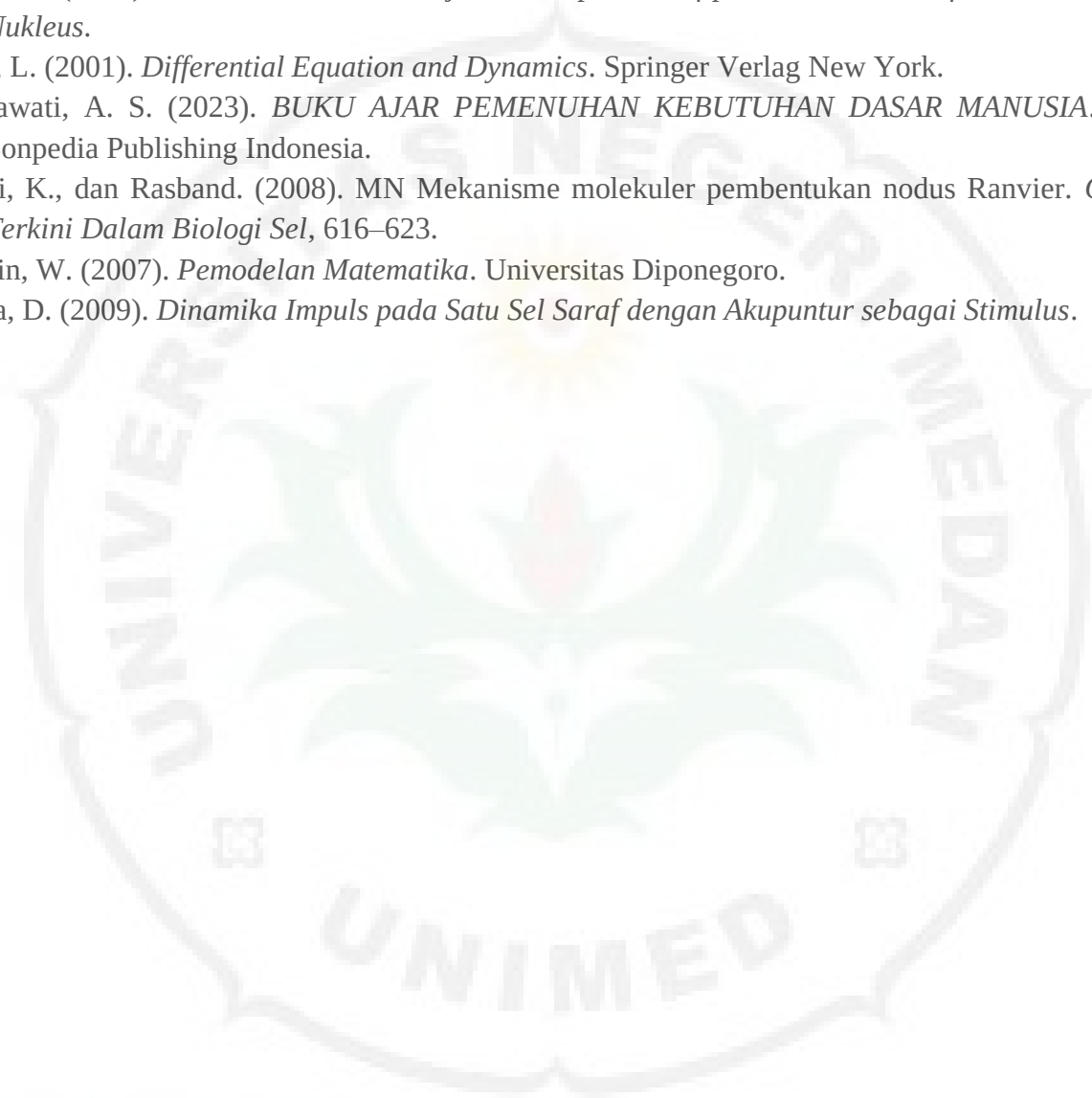
Terimakasih diucapkan kepada Dosen Pembimbing yang telah memberikan dukungan sehingga penelitian bisa terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Boyce, W., E. D. R. C. (2001). *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problem*. John Wiley and Sons, Inc.
- Dikansky, A. (2005). Fitzhugh-Nagumo Equations in a Nonhomogeneous Medium. *Discrete and Continuous Dynamical Systems*, 3, 216–224.
- Irawati, L. (2015). Aktivitas Listrik pada Otot Jantung. *Jurnal Kesehatan Andalas*, 4(2), 596–599.

<https://doi.org/10.25077/jka.v4i2.306>

- Oswari, S. (2008). *Model Matematika Penjalaran Impuls Saraf pada Satu Sel Saraf di Subthalamik Nukleus*.
- Perko, L. (2001). *Differential Equation and Dynamics*. Springer Verlag New York.
- Sukmawati, A. S. (2023). *BUKU AJAR PEMENUHAN KEBUTUHAN DASAR MANUSIA*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Susuki, K., dan Rasband. (2008). MN Mekanisme molekuler pembentukan nodus Ranvier. *Opini Terkini Dalam Biologi Sel*, 616–623.
- Sutimin, W. (2007). *Pemodelan Matematika*. Universitas Diponegoro.
- Yunita, D. (2009). *Dinamika Impuls pada Satu Sel Saraf dengan Akupuntur sebagai Stimulus*.



THE
Character Building
UNIVERSITY