



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 menyebarkan 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.

Publikasi dan Registrasi

Sri Dewi, M.Kom.

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

Promosi dan Humas

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

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

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

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.

Konsumsi

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

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

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

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 Hypothetical 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 bullying

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 Yuwindi, 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 Kecanduan Game Online dengan Model SEIPTR

Satria Juan Carli ^{1*}, & Lasker P. Sinaga ²

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

*Corresponding Author: satriajuancarli10siahaan@gmail.com

Abstrak, Kecanduan game online telah menjadi isu yang berdampak signifikan pada berbagai aspek kehidupan sosial dan kesehatan mental individu. Penelitian ini mengembangkan model sebelumnya untuk mempelajari dinamika kecanduan game online melalui penambahan dua parameter baru, yaitu ξ_3 dan θ . Parameter ξ_3 merepresentasikan tingkat tambahan transisi dari populasi *Exposed* menuju *Recovered*, yang mencerminkan pengaruh lingkungan atau faktor eksternal yang mempercepat keterpaparan menjadi kecanduan. Parameter θ mewakili tingkat pemulihan dari *Recovered* menuju *Susceptible*, menggambarkan kemungkinan individu yang telah pulih untuk kembali rentan terhadap kecanduan game online. Pemodelan dilakukan dengan sistem persamaan diferensial yang dibangun berdasarkan kompartemen *Susceptible*, *Exposed*, *Infected*, *Profesional*, *Under Treatment*, dan *Recovered*. Untuk mengevaluasi perilaku sistem dalam kondisi tertentu, simulasi numerik diterapkan menggunakan metode Runge-Kutta orde 4, yang memungkinkan analisis nilai parameter dalam kondisi keseimbangan epidemiologis, yaitu ketika $R_0 < 1$ dan $R_0 > 1$. Hasil simulasi menunjukkan pengaruh signifikan dari parameter ξ_3 dan θ terhadap dinamika populasi di setiap kompartemen, nilai yang lebih tinggi pada parameter ξ_3 dan θ menyebabkan peningkatan pada kompartemen T dan R menjadi lebih lambat, sedangkan kompartemen S terus menurun seiring dengan banyaknya individu yang berpindah ke kompartemen lainnya.

Kata kunci: Pemodelan Matematika; Runge-kutta orde 4; Kecanduan game online

Abstract, Online gaming addiction has become an issue that significantly impacts various aspects of social life and individual mental health. This research develops a previous model to study the dynamics of online gaming addiction by adding two new parameters, ξ_3 and θ . The parameter ξ_3 represents an additional transition rate from the *Exposed* population to the *Recovered* population, reflecting the influence of environmental or external factors that accelerate the transition from exposure to addiction. The parameter θ represents the recovery rate from the *Recovered* to the *Susceptible* population, illustrating the possibility of individuals who have recovered becoming susceptible to online gaming addiction again. The modeling is conducted through a system of differential equations based on the compartments of *Susceptible*, *Exposed*, *Infected*, *Professional*, *Under Treatment*, and *Recovered*. To evaluate the system's behavior under specific conditions, numerical simulations are applied using the fourth-order Runge-Kutta method, allowing for parameter value analysis in epidemiological equilibrium conditions, namely when $R_0 < 1$ and $R_0 > 1$. The simulation results show the significant impact of the ξ_3 and θ parameters on the population dynamics within each compartment, with higher values of ξ_3 and θ causing slower increases in the T and R compartments, while the S compartment continues to decrease as more individuals transition to other compartments.

Keywords: Mathematical Modeling; Fourth-Order Runge-Kutta; Online Gaming Addiction

Citation : Carli, S. G., & Sinaga, L. P. (2024). Analisis Kecanduan Game Online dengan Model. *Prodising Seminar Nasional Jurusan Matematika 2024*. 515 – 526

PENDAHULUAN

Matematika memiliki peran penting dalam kemajuan ilmu pengetahuan lainnya. Konsep dan prinsip matematika diterapkan dalam kegiatan sehari-hari seperti menghitung dan mengukur. Selain itu, matematika sangat penting untuk menyelesaikan masalah di bidang fisika, kimia, biologi,

teknik, kesehatan, dan berbagai masalah masyarakat. Fenomena saat ini sangat terkait dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, yang telah mempermudah aktivitas manusia, terutama melalui perkembangan internet.

Kemajuan teknologi, terutama internet, telah memberikan manfaat besar dalam kehidupan sehari-hari. Internet kini tidak hanya membantu pekerjaan dan pendidikan, tetapi juga menawarkan hiburan seperti media sosial dan permainan. Dulu, permainan hanya bisa dimainkan di komputer yang terhubung kabel, namun sekarang bisa dimainkan kapan saja dan di mana saja melalui ponsel, laptop, atau komputer. Konektivitas global memungkinkan pemain terhubung tanpa jarak. Namun, bermain game online secara berlebihan dapat menyebabkan kecanduan, yang memengaruhi kesehatan mental, tidur, dan fisik. Internet Gaming Disorder (IGD) adalah kondisi yang ditandai dengan penggunaan game yang berlebihan dan terus-menerus, mengganggu kehidupan sehari-hari, dan termasuk dalam DSM-5 sebagai diagnosis potensial. WHO mengklasifikasikan IGD sebagai gangguan yang nyata, dengan gejala seperti keasyikan berlebihan, penarikan diri saat berhenti bermain, dan penggunaan terus-menerus meskipun ada konsekuensi negatif (Tejeiro R, 2016; Li & Guo, 2019). Kasus serius terkait kecanduan game juga telah terjadi di berbagai negara. Di Amerika Serikat, seorang ayah meninggal setelah bermain game online selama 22 jam tanpa henti, dan di Cina, seorang pria berusia 20 tahun meninggal setelah bermain King of Glory selama lima bulan setiap hari. Insiden serupa juga terjadi di Indonesia. Selain itu, kecanduan game juga memicu tindak kriminal, seperti pencurian uang dan barang untuk membayar sewa alat game online. Mengingat dampak negatif yang signifikan, penting untuk memahami dinamika kecanduan game online, yang dapat dianalisis melalui model matematika untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhinya.

Masalah kecanduan game online telah menjadi fokus penelitian di berbagai disiplin ilmu, termasuk bidang sosial dan matematika. Peneliti sosial seperti Eryzal Novriady (2019) meneliti dampak kecanduan game online pada remaja, sementara Utami dan kolega (2020) mengkaji pengaruhnya terhadap kemampuan penyesuaian sosial remaja. Di bidang matematika, penelitian mengenai kecanduan telah dilakukan untuk berbagai jenis kecanduan, seperti rokok, narkoba, dan alkohol. Contohnya, Mochamad Abrori (2016) memodelkan jumlah alkohol dalam tubuh, dan Side et al. (2020) meneliti kecanduan media sosial menggunakan model matematika SIR. Peneliti seperti Li dan Guo (2019) memodelkan kecanduan game online dengan empat kompartemen (*Susceptible, Infective, Professional, Quitting*), lalu mengembangkannya pada 2021 menjadi enam kompartemen. Hiromi Seno (2021) memodelkan dengan tiga kompartemen (*Moderate, Addictive, Recovery/UnderTreatment*), sementara Arif dan kolega (2021) menggunakan empat kompartemen dengan kemungkinan individu yang sembuh kembali menjadi rentan.

Berdasarkan kajian literatur dan penelitian-penelitian sebelumnya, peneliti melakukan modifikasi dari model yang dikembangkan oleh Li & Guo (2021), karena pesatnya perkembangan game online memerlukan model yang lebih optimal untuk menggambarkan dinamika kecanduan dengan lebih akurat. Individu yang terpapar (ekspos) *game online* dapat langsung sembuh karena mereka mungkin belum mengalami ketergantungan yang signifikan, paparan awal ini mungkin hanya memicu rasa penasaran tanpa mempengaruhi perilaku mereka secara mendalam. Dalam tahap ini, individu masih memiliki kendali terhadap intensitas bermainnya dan bisa memutuskan untuk berhenti sebelum kecanduan terbentuk. Sebaliknya, individu yang sudah sembuh dari kecanduan dapat kembali rentan karena kecanduan *game online*, seperti bentuk kecanduan lainnya, dapat meninggalkan jejak psikologis yang membuat mereka mudah kembali bermain ketika dihadapkan dengan pemicu tertentu, seperti tekanan emosional, waktu luang berlebih, atau akses mudah ke permainan. Situasi ini menciptakan risiko bahwa individu yang pernah kecanduan akan kembali bermain secara berlebihan, karena mereka memiliki riwayat ketergantungan yang membuat mereka lebih mudah jatuh kembali ke kebiasaan tersebut. (Arif, 2021).

Berdasarkan pernyataan Arif (2021) model $SEIPQ_1Q_2$ dikembangkan. Dalam penelitian ini digunakan model 6 kompartemen SEIPTR (*Susceptible, Exposed, Infected, Professional,*

Recovered). Model SEIPTR ini merupakan modifikasi model matematika pada penelitian Tingting Li & Youing Guo (2019) dengan perubahan pada kompartemen *Incompletely Recovered* diganti menjadi kompartemen *Under Treatment*(T). Kompartemen *Completely Recovered* dapat kembali ke kompartemen *Susceptible*. Laju perpindahan dari kompartemen *Completely Recovered* ke *Susceptible* (δ_1) dan Laju perpindahan dari kompartemen *Completely Recovered* ke *Susceptible* (ξ_3) diasumsikan diantara 0 dan 1 untuk memahami bagaimana perubahan parameter mempengaruhi hasil model.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode pemodelan matematika berbasis sistem persamaan diferensial untuk menganalisis dinamika kecanduan game online dalam populasi. Pendekatan ini bertujuan memecahkan permasalahan kecanduan dengan mengevaluasi perubahan populasi dalam kompartemen *Susceptible*, *Exposed*, *Infected*, *Professional*, *Under Treatment*, dan *Recovered*. Model dikembangkan melalui penambahan dua parameter baru, yaitu ξ_3 , yang merepresentasikan tingkat tambahan transisi dari *Exposed* ke *Recovered*, dan θ , yang menggambarkan tingkat pemulihan dari *Recovered* ke *Susceptible*. Untuk memahami perilaku sistem, pencarian titik-titik keseimbangan dilakukan dengan menganalisis kondisi epidemiologis, yaitu ketika nilai basic reproduction number R_0 berada di bawah atau di atas 1. Jika $R_0 < 1$, sistem akan menuju titik kesetimbangan bebas kecanduan, di mana jumlah individu dalam kompartemen kecanduan (*Infected* dan *Under Treatment*) akan menurun menuju nol. Sebaliknya, jika $R_0 > 1$, sistem akan mencapai titik kesetimbangan endemik, di mana sebagian populasi tetap berada dalam kompartemen kecanduan. Titik-titik keseimbangan ini diperoleh dengan menyusun persamaan pada kondisi stabil, yaitu ketika perubahan populasi dalam setiap kompartemen bernilai nol. Analisis ini membantu dalam memahami distribusi populasi jangka panjang dalam kondisi stabil.

Untuk menyelesaikan sistem persamaan diferensial ini, digunakan metode numerik Runge-Kutta orde 4. Metode ini dipilih karena ketepatan dan kestabilannya dalam memecahkan persamaan diferensial non-linear, serta kemampuannya dalam menghasilkan simulasi yang akurat. Dalam pelaksanaan simulasi, kondisi awal untuk setiap kompartemen ditentukan, dan iterasi komputasi dilakukan pada setiap langkah waktu tertentu dengan variasi parameter ξ_3 dan θ . Variasi ini memungkinkan analisis pengaruh nilai parameter terhadap perubahan populasi di setiap kompartemen. Proses simulasi dilanjutkan hingga sistem mencapai kondisi stabil atau waktu simulasi berakhir, dengan hasil yang kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh parameter terhadap dinamika populasi dalam kompartemen-kompartemen tersebut. Simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB(MathWorks). MATLAB dipilih karena menyediakan fungsi yang mendukung pemecahan persamaan diferensial dan visualisasi grafik hasil simulasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian yang dilakukan oleh Linting Guo dan Youming (2021) mengenai model penyebaran kecanduan game online, total populasi $N(t)$ dibagi menjadi enam subpopulasi, yaitu S, E, I, P, Q_1 dan Q_2 . Dalam model ini, total populasi $N(t)$ dianggap konstan sepanjang waktu, yang menunjukkan bahwa tidak ada pertumbuhan atau penurunan populasi secara keseluruhan selama periode analisis. Pemodelan tersebut bertujuan untuk memahami dinamika penyebaran kecanduan game online dalam masyarakat dengan mempertimbangkan peran masing-masing subpopulasi dalam penyebaran kecanduan. Individu rentan (S) dapat berubah menjadi exposed (E) dapat dipengaruhi oleh lingkungan, status sosial dan juga psikologis. Misalnya seseorang yang rentan terhadap kesepian atau stres mungkin lebih rentan terhadap penggunaan berlebihan *game online* sebagai pelarian atau cara mengatasi tekanan. Individu terpapar (E) menjadi kecanduan *game online* dapat melalui berbagai cara, seperti teman yang memperkenalkan, iklan yang menarik perhatian, ketertarikan mencoba *game*, membentuk tim dengan teman sekitar dan lainnya. Penggunaan yang berlebihan, dorongan untuk terus bermain dan perasaan ketergantungan dapat menyebabkan

seseorang menjadi kecanduan. Dengan pesatnya perkembangan e-sports, jenis *e-sports* pun semakin banyak kompetisi, banyak perguruan tinggi dan universitas yang membuka jurusan e-sports, dan masih banyak lagi *gamer* memilih untuk menjadi *gamer* profesional atau terlibat dalam karir yang berhubungan dengan *game*, misalnya seperti: desainer *game*, komentator *game*, tuan rumah turnamen *e-sports*, dll (Li & Guo, 2019).

Kemajuan teknologi dan perkembangan industri *game online* membuat dinamika penyebaran kecanduan *game online* juga berubah. Berkembangnya *game online* membuat pendekatan mengenai dinamika penyebaran kecanduan *game online* juga perlu disesuaikan agar sesuai dengan kenyataan sebenarnya. Pada penelitian ini, penulis melakukan modifikasi pada model penyebaran kecanduan *game online* yang didasarkan pada model yang diusulkan oleh Linting Guo dan Youming (2021), dengan menambahkan laju parameter (ξ_3) terpapar (*ekspose*) langsung menuju ke subpopulasi sembuh (*Recovered*), dan laju perpindahan dari sembuh (*Recovered*) kembali menjadi rentan (θ).

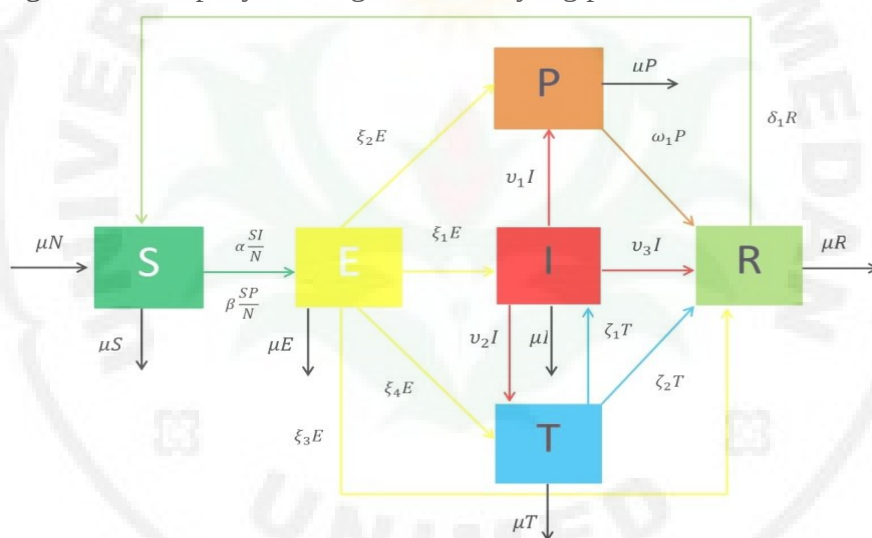
Dalam penelitian Yohanes (2022) dan Arif (2021) mengenai kecanduan *game online*, ditemukan bahwa individu yang berada dalam kategori terpapar (*ekspose*) dapat langsung pulih tanpa mengalami fase kecanduan atau menjadi individu yang terinfeksi. Hal ini menunjukkan bahwa pada beberapa kasus, paparan terhadap *game online* tidak selalu menyebabkan kecanduan yang berkelanjutan. Sebaliknya, ada kemungkinan bahwa individu tersebut dapat pulih dengan cepat dan tidak masuk ke dalam kategori adiksi yang lebih dalam. Temuan ini relevan dalam memahami variasi respons terhadap paparan *game online* di masyarakat. Ini juga menjadi pertimbangan penting dalam pengembangan model epidemiologi kecanduan *game online*. Skenario ini dapat dimasukkan ke dalam model dengan menambahkan parameter yang memungkinkan transisi langsung dari *ekspose* ke pemulihan tanpa melalui fase kecanduan.

Pada penelitian Arif (2021) juga menjelaskan individu yang telah sembuh dapat rentan kembali bermain *game online* karena penyebaran *game online* yang semakin pesat di era modern saat ini. Orang yang telah sembuh dari kecanduan *game online* dapat kembali menjadi rentan karena beberapa alasan utama. Desain adiktif *game online* memainkan peran penting, banyak *game* dirancang untuk mempertahankan ketertarikan pemain melalui mekanisme penguatan, seperti hadiah berjangka, pencapaian, dan interaksi sosial dalam *game*. Hal ini menciptakan daya tarik yang kuat, bahkan bagi individu yang telah pulih. Pengaruh lingkungan sosial juga berkontribusi secara signifikan, di mana keberadaan teman atau komunitas yang aktif bermain *game* dapat mendorong mantan pecandu untuk kembali mencoba, apalagi jika ada tekanan sosial untuk bergabung. Selain itu, faktor psikologis pribadi, seperti stres, kecemasan, atau kebosanan, dapat membuat individu lebih rentan untuk menggunakan *game* sebagai pelarian atau mekanisme *coping*. Keterbatasan dalam dukungan berkelanjutan pasca pemulihan, seperti konseling atau program pendampingan, membuat individu yang telah sembuh lebih berisiko untuk mengalami *relapse* karena tidak memiliki sistem penyangga yang kuat dalam menjaga ketahanan terhadap dorongan untuk bermain kembali (Sapto, 2021).

Berdasarkan kajian pustaka yang relevan, penulis menerapkan model dinamika epidemiologi untuk mensimulasikan proses penyebaran kecanduan *game online* dengan memperhatikan karakteristik yang melekat pada aktivitas tersebut. Pendefinisian kompartemen *susceptible* (S), *exposed* (E), *infected* (I), dan *professional* (P) disusun mengikuti kerangka model yang diusulkan oleh Linting Li dan Youming (2021), sementara karakteristik kompartemen *under treatment* (T) merujuk pada penelitian Yohanes (2022) yang sebelumnya adalah Q_1 pada penelitian Linting Li dan Youming (2021). Adapun untuk kompartemen *recovered* (R) yang sebelumnya adalah Q_2 pada penelitian Linting Li dan Youming (2021), pendekatan diadaptasi berdasarkan hasil studi dari Arif (2021). Model ini diharapkan mampu menggambarkan dinamika kecanduan *game online* secara realistis dengan memperhatikan sumber rujukan yang relevan.

Dalam penelitian ini, populasi yang terlibat dalam kecanduan *game online* dikelompokkan ke dalam enam kompartemen untuk menganalisis dinamika penyebarannya secara lebih terperinci.

Populasi dibagi menjadi enam kompartemen, yaitu rentan (S), *ekspose* (E), *infection* (I), *under treatment* (T), *profesional* (P) dan *recovered* (R). Jadi, jumlah populasi dengan persamaan $N(t) = S(t) + E(t) + I(t) + P(t) + T(t) + R(t)$. dimana $S(t)$: Kelompok ini mencakup orang-orang yang tidak mengenal game online atau hanya mengetahui keberadaan game tersebut tanpa bermain. Mereka berisiko mengalami kecanduan game online (Li Y. G., 2021). $E(t)$: Mengacu pada orang-orang yang terpapar game online secara terbatas atau jarang (kurang dari 3 jam per hari). Orang-orang dalam kategori ini bisa sembuh tanpa mengalami kecanduan (Li Y. G., 2021). $I(t)$: Merupakan individu yang kecanduan game, dengan waktu bermain minimal 30 jam per minggu (setidaknya 4 hingga 5 jam per hari) (Li Y. G., 2021). $P(t)$: Termasuk profesional yang bekerja di industri game atau terlibat dalam e-sports (Li Y. G., 2021). $T(t)$: Individu yang sedang berusaha berhenti bermain game online melalui kontrol diri, pengawasan orang tua, atau yang telah menerima edukasi tentang game online (Yohanes, 2022). $R(t)$: Mencakup individu yang telah berhenti bermain game online karena berbagai alasan. Mereka mungkin masih berisiko untuk kembali bermain game karena penyebaran game online yang pesat di era modern ini (Arif, 2021).



Gambar 1. Diagram Transfer Penyebaran Kecanduan Game Online Model SEIPTR

Domain fungsi untuk sistem ini memastikan bahwa setiap kompartemen memiliki jumlah populasi yang tidak negatif, dan bahwa jumlah total populasi N adalah tetap. Jadi, untuk setiap kompartemen, nilai-nilai harus memenuhi syarat-syarat berikut:

$$D = \{(S, E, I, P, T, R) : S \geq 0, E \geq 0, I \geq 0, P \geq 0, T \geq 0, R \geq 0, S + E + I + P + T + R = N\}$$

Ini berarti bahwa jumlah populasi dalam setiap kompartemen harus non-negatif, dan total populasi tetap N selalu terbagi di antara kompartemen-kompartemen ini. Dengan kata lain N tidak berubah seiring waktu. Berikut adalah model matematika modifikasi penyebaran kecanduan game online dengan model SEIPTR:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= \mu N(t) + \theta R - \mu S(t) - S(t) \frac{\alpha I(t) + \beta P(t)}{N(t)}, \\ \frac{dE}{dt} &= S(t) \frac{\alpha I(t) + \beta P(t)}{N(t)} - (\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \mu)E(t), \\ \frac{dI}{dt} &= \xi_1 E(t) + \delta_1 T(t) - (v_1 + v_2 + v_3 + \mu)I(t), \\ \frac{dP}{dt} &= \xi_2 E(t) + v_1 I(t) - (\omega_1 + \omega_2 + \mu)P(t), \\ \frac{dT}{dt} &= v_2 I(t) + \omega_1 P(t) - (\delta_1 + \delta_2 + \mu)T(t), \\ \frac{dR}{dt} &= v_3 I(t) + \omega_2 P(t) + \delta_2 T(t) - (\mu + \theta)R\end{aligned}$$

Misalkan $k_1 = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \mu$, $k_2 = v_1 + v_2 + v_3 + \mu$, $k_3 = \omega_1 + \omega_2 + \mu$
 $k_4 = \delta_1 + \delta_2 + \mu$ dan $k_5 = \mu + \theta$

Analisis titik kesetimbangan pada sistem persamaan diferensial digunakan untuk menentukan suatu solusi yang tidak berubah terhadap waktu (solusi konstan). Titik kesetimbangan persamaan (4.2) dapat dicari dengan membuat sistem tersebut dalam kondisi konstan terhadap waktu. Hal ini dapat dicapai jika memenuhi:

$$\frac{dS}{dt} = 0, \frac{dE}{dt} = 0, \frac{dI}{dt} = 0, \frac{dP}{dt} = 0, \frac{dT}{dt} = 0, \frac{dR}{dt} = 0 \quad (1)$$

Dengan menyelesaikan persamaan secara simultan, maka akan diperoleh dua titik kesetimbangan, yaitu titik kesetimbangan bebas kecanduan A_0 dan titik kesetimbangan tidak bebas kecanduan A_1 .

Titik kesetimbangan bebas kecanduan game online adalah keadaan dalam model epidemiologi di mana tidak ada individu yang terinfeksi dalam populasi. Pada titik ini, jumlah individu yang terinfeksi adalah nol, dan hanya terdapat individu yang rentan, dan pulih. Dengan kata lain kondisi bebas kecanduan game online ditunjukkan dengan tidak ada sub populasi terinfeksi $I = 0, E = 0, P = 0, T = 0$.

Diperoleh titik kesetimbangan bebas kecanduan game online model SEIPTR adalah sebagai berikut: $A_0 = (S_0, E_0, I_0, P_0, T_0, R_0) = (N, 0, 0, 0, 0, 0)$. Titik kesetimbangan pada kondisi tidak bebas kecanduan game online merupakan kondisi ketika terdapat individu yang kecanduan game online pada suatu populasi tertentu dengan kata lain $I \neq 0$. Maka untuk titik kesetimbangan tidak bebas kecanduan game online dapat diperhatikan sebagai berikut:

$$S^* = \frac{Nk_1(\delta_1 k_3 v_2 + k_2 k_3 k_4 - \delta_1 \omega_1 v_1)}{\alpha \delta_1 \omega_1 \xi_2 + \alpha k_3 k_4 \xi_1 + \beta k_2 k_4 \xi_2 - \beta \delta_1 v_2 \xi_2 + \beta k_4 v_1 \xi_1}$$

$$E^* = \frac{N\mu(\mu + \theta)(\delta_1 k_3 v_2 - k_2 k_3 k_4 + \delta_1 \omega_1 v_1)(\alpha \delta_1 \omega_1 \xi_2 - k_1 k_2 k_3 k_4 + \alpha k_3 k_4 \xi_1 + \delta_1 k_1 k_3 v_2 + \beta k_2 k_4 \xi_2 + \delta_1 k_1 \omega_1 v_1 - \beta k_4 v_1 \xi_1)}{\alpha \delta_1 \omega_1 \xi_2 + \alpha k_3 k_4 \xi_1 + \beta k_2 k_4 \xi_2 - \beta \delta_1 v_2 \xi_2 + \beta k_4 v_1 \xi_1 (\delta_1 k_1 k_3 \mu v_2 - k_1 k_2 k_3 k_4 \mu - k_1 k_2 k_3 k_4 \theta + \delta_1 k_1 \mu \omega_1 v_1 + \delta_1 k_1 k_3 \theta v_2 + \delta_1 k_1 \omega_1 \theta v_1 + \delta_2 k_2 \omega_1 \theta \xi_2 + \delta_2 k_3 \theta v_2 \xi_1 + k_2 k_4 \omega_2 \theta \xi_2 + \delta_2 \omega_1 \theta v_1 \xi_1 + \delta_1 \omega_1 \theta v_3 \xi_2 + k_3 k_4 \theta v_3 \xi_1 + k_4 \omega_2 \theta v_1 \xi_1)}$$

$$I^* = \frac{N\mu(\mu - \theta)(\delta_1 \omega_1 \xi_2 - k_3 k_4 \xi_1) \left(\alpha \delta_1 \omega_1 \xi_2 + k_1 k_2 k_3 k_4 - \alpha k_3 k_4 \xi_1 - \delta_1 k_1 k_3 v_2 \right)}{\left(\alpha \delta_1 \omega_1 \xi_2 + \alpha k_3 k_4 \xi_1 + \beta k_2 k_4 \xi_2 \right) \left(\delta_1 k_1 k_3 \mu v_2 - k_1 k_2 k_3 k_4 \mu - k_1 k_2 k_3 k_4 \theta + \delta_1 k_1 \mu \omega_1 v_1 + \delta_1 k_1 k_3 \theta v_2 + \delta_1 k_1 \omega_1 \theta v_1 + \delta_2 k_2 \omega_1 \theta \xi_2 + \delta_2 k_3 \theta v_2 \xi_1 - \beta \delta_1 v_2 \xi_2 + \beta k_4 v_1 \xi_1 \right) + \left(k_2 k_4 \omega_2 \theta \xi_2 + \delta_2 \omega_1 \theta v_1 \xi_1 + \delta_1 \omega_1 \theta v_3 \xi_2 - \delta_1 \omega_2 \theta v_2 \xi_2 + k_3 k_4 \theta v_3 \xi_1 + k_4 \omega_2 \theta v_1 \xi_1 \right)}$$

$$P^* = \frac{N\mu(\mu - \theta)(k_2 k_4 \xi_2 + \delta_1 v_2 \xi_2 - k_4 v_1 \xi_1) \left(\alpha \delta_1 \omega_1 \xi_2 + k_1 k_2 k_3 k_4 - \alpha k_3 k_4 \xi_1 - \delta_1 k_1 k_3 v_2 \right)}{\left(\alpha \delta_1 \omega_1 \xi_2 + \alpha k_3 k_4 \xi_1 + \beta k_2 k_4 \xi_2 \right) \left(\delta_1 k_1 k_3 \mu v_2 - k_1 k_2 k_3 k_4 \mu - k_1 k_2 k_3 k_4 \theta + \delta_1 k_1 \mu \omega_1 v_1 + \delta_1 k_1 k_3 \theta v_2 + \delta_1 k_1 \omega_1 \theta v_1 + \delta_2 k_2 \omega_1 \theta \xi_2 + \delta_2 k_3 \theta v_2 \xi_1 + k_2 k_4 \omega_2 \theta \xi_2 + \delta_2 \omega_1 \theta v_1 \xi_1 + \delta_1 \omega_1 \theta v_3 \xi_2 - k_3 k_4 \theta v_3 \xi_1 + k_4 \omega_2 \theta v_1 \xi_1 \right)}$$

$$T = \frac{N\mu(\mu - \theta)(k_2\omega_1\xi_2 - k_3\nu_2\xi_1 - \omega_1\nu_1\xi_1)(\alpha\delta_1\omega_1\xi_2 + k_1k_2k_3k_4 - \alpha k_3k_4\xi_1 - \delta_1k_1k_3\nu_2 + \beta k_2k_4\xi_2 + \delta_1k_1\omega_1\nu_1 - \beta\delta_1\nu_2\xi_2 + \beta k_4\nu_1\xi_1)}{(\alpha\delta_1\omega_1\xi_2 + \alpha k_3k_4\xi_1 + \beta k_2k_4\xi_2 - \beta\delta_1\nu_2\xi_2 + \beta k_4\nu_1\xi_1)(\delta_1k_1k_3\mu\nu_2 - k_1k_2k_3k_4\mu - k_1k_2k_3k_4\theta + \delta_1k_1\mu\omega_1\nu_1 + \delta_1k_1k_3\theta\nu_2 + \delta_1k_1\omega_1\theta\nu_1 + \delta_2k_2\omega_1\theta\xi_2 + \delta_2k_3\theta\nu_2\xi_1 + k_2k_4\omega_2\theta\xi_2 + \delta_2\omega_1\theta\nu_1\xi_1 + \delta_1\omega_1\theta\nu_3\xi_2 - \delta_1\omega_2\theta\nu_2\xi_2 + k_3k_4\theta\nu_3\xi_1 + k_4\omega_2\theta\nu_1\xi_1)}$$

$$R = \frac{N\mu(\delta_2k_2\omega_1\xi_2 - \delta_2k_3\nu_2\xi_1 - k_2k_4\omega_2\xi_2 - \delta_2\omega_1\nu_1\xi_1 - \delta_1\omega_1\nu_3\xi_2 + \delta_1\omega_2\nu_2\xi_2 - k_3k_4\nu_3\xi_1 - k_4\omega_2\nu_1\xi_1)}{(\alpha\delta_1\omega_1\xi_2 + k_1k_2k_3k_4 - \alpha k_3k_4\xi_1 - \delta_1k_1k_3\nu_2a - \beta k_2k_4\xi_2 - \delta_1k_1\omega_1\nu_1 + \beta\delta_1\nu_2\xi_2 - \beta k_4\nu_1\xi_1)} \begin{pmatrix} \delta_1k_3\mu\nu_2 - k_1k_2k_3k_4\mu - k_1k_2k_3k_4\theta + \delta_1k_1\mu\omega_1\nu_1 + \delta_1k_1k_3\theta\nu_2 + \delta_1k_1\omega_1\theta\nu_1 + \delta_2k_2\omega_1\theta\xi_2 + \delta_2k_3\theta\nu_2\xi_1 + k_2k_4\omega_2\theta\xi_2 + \delta_2\omega_1\theta\nu_1\xi_1 + \delta_1\omega_1\theta\nu_3\xi_2 - \delta_1\omega_2\theta\nu_2\xi_2 + k_3k_4\theta\nu_3\xi_1 + k_4\omega_2\theta\nu_1\xi_1 \end{pmatrix}$$

Bilangan reproduksi dasar (*Basic Reproduction Number*) adalah nilai harapan banyaknya infeksi tiap satuan waktu yang terjadi pada satu individu terinfeksi dalam populasi rentan. Untuk menentukan *Basic Reproduction Number* pada model kecanduan game online SEIPTR, digunakan metode *Next Generation Matrix*. Untuk membentuk *Next Generation Matriks* bagi model epidemiologi yang melibatkan sub populasi terinfeksi (E, I, P, T), terlebih dahulu diidentifikasi sub populasi-sub populasi ini dan menuliskan ulang persamaan diferensialnya dalam bentuk *Next Generation Matriks*. Sistem persamaan diferensial yang berkaitan dengan sub populasi terinfeksi: $E'(t) = S \frac{\alpha I + \beta P}{N} - (\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \mu)E$, $I'(t) = \xi_1E + \delta_1T - (v_1 + v_2 + v_3 + \mu)I$, $P'(t) = \xi_2E + v_1I(t) - (\omega_1 + \omega_2 + \mu)P$, dan $T'(t) = v_2I + \omega_1P - (\delta_1 + \delta_2 + \mu)T$. Dalam metode *Next Generation Matriks*, pisahkan persamaan diferensial menjadi dua bagian, satu bagian untuk infeksi baru (F) dan satu bagian untuk transisi dan penghilangan individu terinfeksi (V). Matriks Jacobian F dan persamaan karakteristik dari matriks K diperoleh dari $K - \lambda I$ sebagai berikut

$$F = \begin{bmatrix} \frac{\alpha I + \beta P}{N} S \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, V = \begin{bmatrix} k_1E \\ -\xi_1E + k_2I \\ -\xi_2E + k_3P \\ -v_2I - \omega_1P + k_4T \end{bmatrix}, K = \begin{bmatrix} \frac{\alpha\xi_1}{k_1k_2} + \frac{\beta\xi_2}{k_1k_3} & \frac{\alpha}{k_2} & \frac{\beta}{k_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Sedemikian sehingga

$$\det(K - \lambda I) = \det \begin{bmatrix} \frac{\alpha\xi_1}{k_1k_2} + \frac{\beta\xi_2}{k_1k_3} - \lambda & \frac{\alpha}{k_2} & \frac{\beta}{k_3} & 0 \\ 0 & -\lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda \end{bmatrix}$$

Dalam konteks dinamika penyakit, nilai R_0 ditentukan oleh nilai eigen terbesar dari Matriks Jacobian pada titik kesetimbangan bebas penyakit. Dari solusi yang diperoleh, nilai eigen persamaan (1) dan basic reproduction number (R_0) pada persamaan (2).

$$\lambda = \frac{\alpha\xi_1}{k_1k_2} + \frac{\beta\xi_2}{k_1k_3} \quad (1)$$

$$R_0 = \frac{\alpha\xi_1(\omega_1 + \omega_2 + \mu) + \beta\xi_2(v_1 + v_2 + v_3 + \mu)}{(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \mu)(v_1 + v_2 + v_3 + \mu)(\omega_1 + \omega_2 + \mu)} \quad (2)$$

Dimana semua parameter adalah positif, karena pembilang adalah jumlah dari bilangan positif (karena setiap parameter adalah positif) dan penyebut adalah perkalian bilangan positif, maka baik pembilang maupun penyebutnya adalah positif. Hal ini menunjukkan bahwa infeksi akan menyebar di populasi dan dapat menyebabkan wabah yang berkelanjutan. Dalam konteks ini, penyakit atau infeksi akan menjadi endemik jika tidak ada intervensi yang efektif. Sistem berada dalam keadaan endemik di mana infeksi tetap ada dalam populasi dengan tingkat penyebaran yang stabil atau meningkat.

Sistem non linear. Analisis kestabilan titik kesetimbangan ditentukan berdasarkan nilai eigen dari matriks Jacobian yang diperoleh melalui metode linearisasi sistem persamaan diferensial model penyebaran kecanduan *game online*. Linearisasi dilakukan dengan mengubah sistem persamaan nonlinear menjadi linear. Linearisasi menghasilkan Matriks Jacobian sebagai berikut:

$$J = \begin{bmatrix} \left(-\mu - \frac{\alpha I + \beta P}{N}\right) & 0 & \left(-\frac{\alpha S}{N}\right) & \left(-\frac{\beta S}{N}\right) & 0 & \theta \\ \left(\frac{\alpha I + \beta P}{N}\right) & -k_1 & \frac{\alpha S}{N} & \frac{\beta S}{N} & 0 & 0 \\ 0 & \xi_1 & -k_2 & 0 & \delta_1 & 0 \\ 0 & \xi_2 & v_1 & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & v_2 & \omega_1 & -k_4 & 0 \\ 0 & 0 & v_3 & \omega_2 & \delta_2 & -k_5 \end{bmatrix}$$

Substitusi titik kesetimbangan bebas kecanduan *game online*, yaitu $A_0 = (S_0, E_0, I_0, P_0, T_0, R_0) = (N, 0, 0, 0, 0, 0)$ pada matriks J , maka diperoleh Matriks Jacobian sebagai berikut:

$$J = \begin{bmatrix} -\lambda - \mu & 0 & -\alpha & -\beta & 0 & \theta \\ 0 & -k_1 - \lambda & \alpha & \beta & 0 & 0 \\ 0 & \xi_1 & -k_2 - \lambda & 0 & \delta_1 & 0 \\ 0 & \xi_2 & v_1 & -k_3 - \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & v_2 & \omega_1 & -k_4 - \lambda & 0 \\ 0 & 0 & v_3 & \omega_2 & \delta_2 & -k_5 - \lambda \end{bmatrix}$$

Maka di dapatkan persamaan karakteristik dari matriks Jacobian bebas kecanduan *game online* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} & \left(\alpha \delta_1 \omega_1 \xi_2 + \alpha k_3 k_4 \xi_1 + \alpha k_3 \lambda \xi_1 + \alpha k_4 \lambda \xi_1 + \alpha \lambda^2 \xi_1 - \beta \delta_1 v_2 \xi_2 + \beta k_2 k_4 \xi_2 \right. \\ & \quad \left. + \beta k_2 \lambda \xi_2 + \beta k_4 \lambda \xi_2 + \beta k_4 v_1 \xi_1 + \beta \lambda^2 \xi_2 + \beta \lambda v_1 \xi_1 + \beta \lambda v_1 \xi_1 + \delta_1 k_1 k_3 v_2 + \right. \\ & \quad \left. + (k_5 + \lambda)(\lambda + \mu) \delta_1 k_1 \lambda v_2 + \delta_1 k_1 \omega_1 v_1 + \delta_1 k_3 \lambda v_2 + \delta_1 \lambda^2 v_2 + \delta_1 \lambda \omega_1 v_1 - k_1 k_2 k_3 k_4 - k_1 k_2 k_3 \lambda \right. \\ & \quad \left. - k_1 k_2 k_4 \lambda - k_1 k_2 \lambda^2 - k_1 k_3 k_4 \lambda - k_1 k_3 \lambda^2 - k_1 k_4 \lambda^2 - k_1 \lambda^3 - k_2 k_3 k_4 \lambda - k_2 k_4 \lambda^2 \right. \\ & \quad \left. - k_2 \lambda^3 - k_3 k_4 \lambda^2 - k_3 \lambda^3 - k_4 \lambda^3 - \lambda^4 \right) \end{aligned}$$

Untuk menentukan kestabilan titik kesetimbangan bebas kecanduan *game online* diperlukan nilai eigen dari persamaan karakteristik di atas bertanda sama dengan kata lain semua nilai eigen bernilai negatif atau semua nilai eigen bernilai positif. Dari persamaan karakteristik di atas didapatkan: $\lambda = -k_5$ dan $\lambda = -\mu$. Selanjutnya digunakan kriteria Routh-Hurwitz untuk memeriksa apakah nilai eigen dari persamaan berikut ini bernilai positif atau bernilai negatif:

$$\begin{aligned} & \alpha \delta_1 \omega_1 \xi_2 + \alpha k_3 k_4 \xi_1 + \alpha k_3 \lambda \xi_1 + \alpha k_4 \lambda \xi_1 + \alpha \lambda^2 \xi_1 - \beta \delta_1 v_2 \xi_2 + \beta k_2 k_4 \xi_2 + \beta k_2 \lambda \xi_2 + \beta k_4 \lambda \xi_2 \\ & + \beta k_4 v_1 \xi_1 + \beta \lambda^2 \xi_2 + \beta \lambda v_1 \xi_1 + \beta \lambda v_1 \xi_1 + \delta_1 k_1 k_3 v_2 + \delta_1 k_1 \lambda v_2 + \delta_1 k_1 \omega_1 v_1 + \delta_1 k_3 \lambda v_2 + \delta_1 \lambda^2 v_2 \\ & + \delta_1 \lambda \omega_1 v_1 - k_1 k_2 k_3 k_4 - k_1 k_2 k_3 \lambda - k_1 k_2 k_4 \lambda - k_1 k_2 \lambda^2 - k_1 k_3 k_4 \lambda - k_1 k_3 \lambda^2 - k_1 k_4 \lambda^2 - k_1 \lambda^3 \\ & - k_2 k_3 k_4 \lambda - k_2 k_4 \lambda^2 - k_2 \lambda^3 - k_3 k_4 \lambda^2 - k_3 \lambda^3 - k_4 \lambda^3 - \lambda^4 \end{aligned}$$

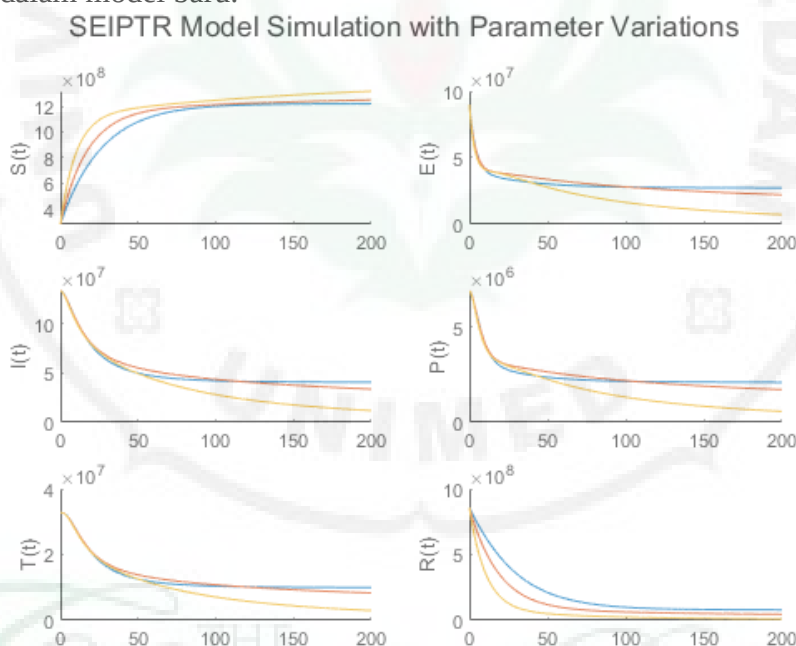
Simulasi Numerik akan dilakukan dengan menggunakan metode numerik Runge-Kutta orde-4 melalui bantuan MATLAB. Nilai-nilai parameter yang digunakan dalam simulasi ini diambil dari jurnal sebelumnya (Guo & Youming, 2021). Selain itu, simulasi ini juga akan mencakup analisis kestabilan sistem dengan melakukan variasi pada parameter ξ_3 dan θ . Dengan mengganti nilai-nilai parameter ini, kami bertujuan untuk mengevaluasi dampaknya terhadap kestabilan asimptotik dari titik-titik kesetimbangan serta untuk memahami bagaimana perubahan parameter mempengaruhi dinamika sistem secara keseluruhan.

Tabel 1. Estimasi parameter (Guo & Youming, 2021).

Parameter	Keterangan	Nilai	Sumber
μ	Angka kelahiran dan angka kematian alami	1/77	Asumsi
α	Koefisien transmisi dari pengguna yang kecanduan I	0.553277	Fitted
β	Koefisien transmisi pengguna profesional P	0.008748	Fitted
ξ_1	Laju individu dari E ke I	0.131643	Fitted

ξ_2	Laju individu dari E ke P	0.017532	Fitted
ξ_3	Laju individu dari E ke R	[0,1]	Asumsi
v_1	Laju individu dari I ke P	0.000340	Fitted
v_2	Proporsi individu yang berhenti sementara di I	0.097332	Fitted
v_3	Proporsi individu yang berhenti secara permanen I	0.040456	Fitted
ω_1	Proporsi individu yang berhenti sementara di T	0.002685	Fitted
ω_2	Proporsi individu yang berhenti bermain P	0.220441	Fitted
δ_1	Proporsi individu T yang mengalami kekambuhan	0.252144	Fitted
δ_2	Proporsi individu yang berhenti bermain T	0.130325	Fitted
θ	Laju individu dari R ke S	[0,1]	Asumsi

Nilai R_0 dalam model SEIPTR dipengaruhi oleh parameter seperti laju transmisi (α, β), laju transisi dari ekspose ke infeksi, dan tingkat pemulihan. Tingginya R_0 menunjukkan perlunya strategi pengendalian untuk mengurangi penyebaran kecanduan game online, misalnya dengan mengurangi laju transmisi atau meningkatkan laju pemulihan melalui program edukasi, pembatasan akses, atau terapi. Penambahan parameter ξ_3 dan θ dalam model menghasilkan penurunan R_0 dari lebih dari 5 pada model lama menjadi lebih dari 2. Parameter ξ_3 mempercepat pemulihan, sehingga mengurangi waktu individu dalam kondisi menularkan kecanduan, sedangkan θ mempercepat perpindahan dari kecanduan menuju pemulihan. Penurunan R_0 ini menunjukkan potensi penularan yang lebih rendah dalam model baru.

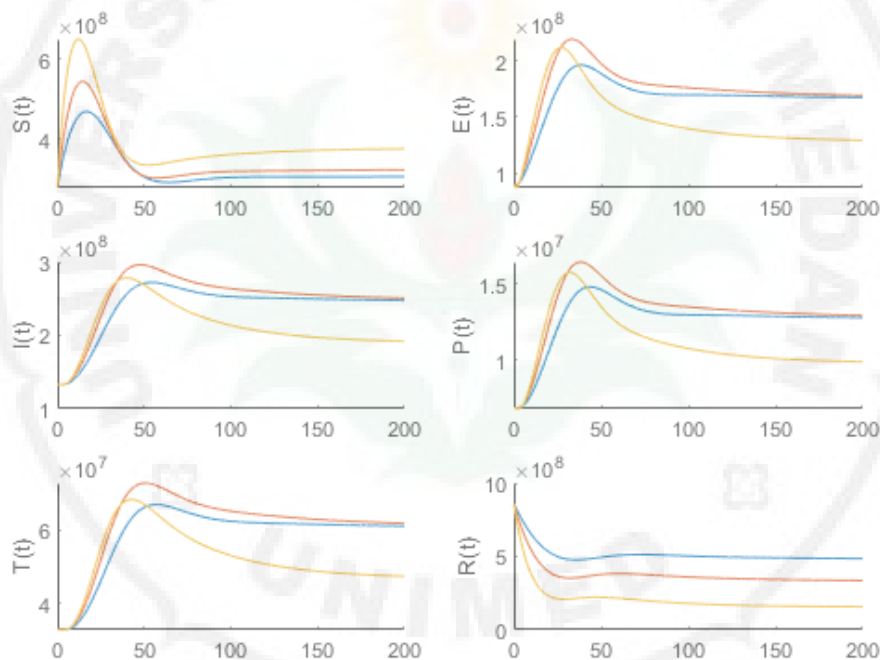


Gambar 2. Simulasi Saat $R_0 < 1$

Nilai dasar reproduksi, R_0 , menunjukkan berapa banyak kasus baru yang dihasilkan oleh satu kasus dalam populasi yang sepenuhnya rentan. Ketika $R_0 < 1$, setiap orang yang terinfeksi menularkan penyakit kepada kurang dari satu orang lain, menunjukkan kecenderungan penyakit akan berkurang atau hilang. Dalam simulasi ini, kami mengamati bagaimana populasi terinfeksi I, profesional P, serta kompartemen lain E (terpapar), T (dalam perawatan), dan R (pulih) menuju stabilitas. Parameter ξ_3 dan θ , yang memengaruhi perpindahan antar kompartemen, divariasikan untuk melihat dampaknya pada dinamika model. Populasi rentan $S(t)$ meningkat dari sekitar $S(0) = 4 \times 10^8$ hingga mencapai keseimbangan dalam kisaran 12×10^8 hingga 13×10^8 . Garis biru, merah, dan kuning menunjukkan variasi ξ_3 dan θ (bernilai masing-masing 0.01, 0.02, dan 0.05 serta 0.003, 0.005, dan 0.009). Populasi rentan stabil pada nilai lebih tinggi dengan kenaikan parameter tersebut, menunjukkan peningkatan ξ_3 dan θ meningkatkan jumlah rentan dalam jangka panjang. Populasi terpapar $E(t)$ turun tajam dari sekitar 9×10^7 pada awal simulasi hingga mendekati keseimbangan sekitar $t = 500$. Kenaikan ξ_3 dan θ mempercepat penurunan $E(t)$ menuju nilai stabil lebih rendah, menunjukkan efektivitas parameter ini dalam mengurangi populasi

terpapar. Populasi infeksius $I(t)$ turun dari sekitar 1.4×10^8 pada awalnya dan mencapai stabilitas pada $t = 500$. Dengan kenaikan ξ_3 dan θ , $I(t)$ menurun lebih cepat dan mencapai titik stabil lebih rendah, bahkan mendekati nol pada kombinasi parameter tertinggi. Kompartemen profesional $P(t)$ menurun drastis pada awalnya hingga sekitar $t = 100$ sebelum stabil. Pada nilai parameter tertinggi, $P(t)$ hampir mencapai nol, menunjukkan peningkatan ξ_3 dan θ secara signifikan menurunkan jumlah populasi profesional. Pada awalnya, $T(t)$ berada di nilai tinggi, sekitar 3.5×10^7 , namun menurun drastis dan mencapai keseimbangan yang berbeda-beda sesuai kombinasi ξ_3 dan θ . Kombinasi tertinggi mempercepat penurunan $T(t)$ dan menstabilkan pada nilai yang lebih rendah. Kompartemen pulih $R(t)$ menurun tajam dari sekitar 9×10^8 pada awal simulasi. Peningkatan ξ_3 dan θ mempercepat penurunan dan menurunkan nilai stabil $R(t)$, menunjukkan laju transisi yang lebih cepat dan pengurangan populasi dalam kompartemen ini.

SEIPTR Model Simulation with Parameter Variations



Gambar 3. Simulasi Saat $R_0 > 1$

Variasi parameter ξ_3 dan θ memengaruhi dinamika penyebaran epidemi serta kestabilan sistem. Kondisi dengan $R_0 > 1$ menunjukkan bahwa penyakit bertahan dalam populasi dan mencapai titik endemik. Grafik menunjukkan dinamika setiap kompartemen, yaitu $S(t)$, $E(t)$, $I(t)$, $P(t)$, dan $T(t)$, berdasarkan tiga kombinasi parameter: $\xi_3 = 0.01$, $\theta = 0.03$, $\xi_3 = 0.02$, $\theta = 0.05$, serta $\xi_3 = 0.05$, $\theta = 0.09$.

Grafik $S(t)$ menggambarkan perubahan populasi rentan. Pada awal waktu ($t = 0$), ketiga kurva menunjukkan peningkatan tajam hingga sekitar $t = 15$. Kombinasi $\xi_3 = 0.05$, $\theta = 0.09$ menghasilkan puncak tertinggi dibandingkan parameter lainnya, menunjukkan bahwa nilai parameter lebih besar memacu pertumbuhan populasi $S(t)$ yang lebih cepat. Setelah mencapai puncak, kurva mengalami penurunan bertahap antara $t = 15$ dan $t = 50$. Penurunan ini mencerminkan peralihan populasi dari $S(t)$ ke kompartemen lain akibat infeksi. Di fase stabil ($t = 70$ hingga $t = 100$), kombinasi $\xi_3 = 0.05$ dan $\theta = 0.09$ tetap menghasilkan nilai stabil tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa parameter besar mendukung populasi rentan yang lebih tinggi dalam jangka panjang.

Grafik $E(t)$ menggambarkan populasi yang terpapar. Pada fase awal ($t = 0$ hingga $t = 30$), ketiga kurva meningkat dengan puncak tertinggi pada $\xi_3 = 0.02$, $\theta = 0.05$. Parameter $\xi_3 = 0.01$ dan $\theta = 0.03$ menghasilkan puncak kedua tertinggi, sedangkan $\xi_3 = 0.05$, $\theta = 0.09$ menghasilkan puncak terendah. Setelah puncak, setiap kurva menurun secara bertahap. Kombinasi $\xi_3 = 0.05$, $\theta = 0.09$

menunjukkan penurunan paling tajam, sedangkan $\xi_3 = 0.01$, $\theta = 0.03$ lebih lambat. Di fase stabil ($t = 70$ hingga $t = 100$), kurva $\xi_3 = 0.01$, $\theta = 0.03$ memiliki nilai $E(t)$ tertinggi, mencerminkan ketahanan populasi lebih besar dalam kompartemen ini. Populasi terinfeksi, $I(t)$, menunjukkan tren serupa dengan $E(t)$. Pada awalnya, kurva meningkat hingga $t = 30$, dengan kombinasi $\xi_3 = 0.02$, $\theta = 0.05$ menghasilkan puncak tertinggi. Penurunan terjadi setelah puncak, di mana $\xi_3 = 0.05$, $\theta = 0.09$ mengalami penurunan tercepat. Stabilitas tercapai sekitar $t = 70$ hingga $t = 100$, dengan nilai stabil tertinggi pada $\xi_3 = 0.01$, $\theta = 0.03$. Fenomena ini menunjukkan bahwa parameter lebih kecil memungkinkan populasi $I(t)$ bertahan lebih lama pada tingkat tinggi.

Grafik $P(t)$, populasi profesional, meningkat cepat pada awal waktu dan mencapai puncak antara $t = 30$ hingga $t = 50$. Kombinasi $\xi_3 = 0.02$, $\theta = 0.05$ menghasilkan puncak tertinggi, sedangkan $\xi_3 = 0.05$, $\theta = 0.09$ memiliki puncak terendah. Setelah itu, kurva menurun, dengan $\xi_3 = 0.05$, $\theta = 0.09$ menunjukkan penurunan lebih tajam. Stabilitas tercapai sekitar $t = 100$, dengan nilai tertinggi pada $\xi_3 = 0.01$, $\theta = 0.03$. Parameter lebih kecil memungkinkan populasi $P(t)$ tetap tinggi dalam waktu panjang, sedangkan parameter besar mengarah pada penurunan cepat ke stabilitas rendah. Grafik $T(t)$, populasi yang pulih sementara, menunjukkan peningkatan awal yang tajam hingga $t = 10$. Kombinasi $\xi_3 = 0.02$, $\theta = 0.05$ mencapai puncak tertinggi, sementara $\xi_3 = 0.05$, $\theta = 0.09$ menunjukkan puncak lebih rendah. Setelah puncak, kurva menurun secara bertahap antara $t = 15$ hingga $t = 60$. Fase stabil dicapai sekitar $t = 60$, dengan $\xi_3 = 0.01$, $\theta = 0.03$ menghasilkan nilai stabil tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa nilai parameter kecil mendukung kestabilan populasi $T(t)$ lebih tinggi dalam jangka panjang.

Grafik menunjukkan perubahan $R(t)$ untuk tiga kombinasi parameter ξ_3 dan θ : $\xi_3 = 0.01$, $\theta = 0.03$; $\xi_3 = 0.02$, $\theta = 0.05$; dan $\xi_3 = 0.05$, $\theta = 0.09$. Ketiga kurva awalnya menurun tajam dari nilai tinggi sekitar 8×10^8 hingga $t = 10$, menunjukkan perpindahan populasi dari $R(t)$ ke kompartemen lain. Setelah itu, kurva mulai stabil dengan penurunan melambat. Pada $t = 20$ hingga $t = 100$, ketiga kurva stabil dengan fluktuasi kecil. Kurva $\xi_3 = 0.01$, $\theta = 0.03$ berada pada nilai tertinggi, sementara $\xi_3 = 0.05$, $\theta = 0.09$ yang paling rendah. Hal ini menunjukkan bahwa parameter lebih tinggi menghasilkan nilai $R(t)$ yang lebih rendah, mencerminkan laju pemulihan yang lebih cepat. Secara keseluruhan, parameter yang lebih tinggi mengarah pada keseimbangan dengan populasi lebih kecil di $R(t)$, yang berpengaruh pada pengendalian populasi dalam model.

Variasi parameter ξ_3 dan θ memiliki pengaruh signifikan terhadap dinamika setiap kompartemen. Parameter besar mempercepat penurunan populasi setelah puncak tetapi mencapai stabilitas lebih rendah. Sebaliknya, parameter kecil memungkinkan kestabilan lebih tinggi meskipun memerlukan waktu lebih lama untuk mencapainya. Dalam konteks epidemiologi, hasil ini menunjukkan bahwa pengendalian nilai parameter dapat menjadi strategi efektif untuk memengaruhi laju penyebaran epidemi dan kestabilan jangka panjang. Studi lanjutan diperlukan untuk mengkaji implikasi klinis dan sosial dari temuan ini.

KESIMPULAN

Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai dasar reproduksi (R_0) memiliki dampak besar terhadap dinamika penyebaran epidemi dalam model. Ketika $R_0 < 1$, populasi rentan $S(t)$ menunjukkan peningkatan yang signifikan, sedangkan kompartemen lainnya, seperti $E(t)$ (terpapar), $I(t)$ (terinfeksi), $P(t)$ (profesional), $T(t)$ (pulih sementara), dan $R(t)$ (pulih permanen), bergerak menuju titik kestabilan yang lebih rendah. Peningkatan parameter ξ_3 dan θ mempercepat penurunan populasi dalam kompartemen $E(t)$, $I(t)$, $P(t)$, $T(t)$, dan $R(t)$, serta meningkatkan jumlah populasi rentan $S(t)$ dalam jangka panjang. Di sisi lain, ketika $R_0 > 1$, penyakit dapat bertahan dalam populasi dan mencapai titik endemik. Variasi pada parameter ξ_3 dan θ menunjukkan bahwa parameter yang lebih besar mempercepat penurunan populasi setelah puncak, tetapi mencapai titik stabil yang lebih rendah, sementara parameter yang lebih kecil mendukung kestabilan populasi yang lebih tinggi meskipun memerlukan waktu lebih lama untuk mencapainya. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian nilai parameter dapat menjadi strategi yang efektif untuk mempengaruhi laju

penyebaran epidemi dan mencapai kestabilan jangka panjang. Secara keseluruhan, hasil ini memberikan wawasan penting mengenai bagaimana variabilitas parameter dapat mempengaruhi dinamika epidemi dalam model, dan menunjukkan bahwa pengaturan parameter yang tepat dapat digunakan sebagai strategi untuk mengendalikan penyebaran dan mencapai keseimbangan dalam populasi. Studi lanjutan diperlukan untuk memahami implikasi klinis dan sosial dari temuan ini lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrori, M. (2016). Model Matematika Minuman Keras. *Jurnal Fourier*, 5(1), 1–9. <https://doi.org/10.14421/fourier.2016.51.1-9>
- Annur, C. M. (2023, September 20). databoks.Retrieved Februari 26, 2024, from Teknologi & Telekomunikasi: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/09/20/pengguna-internet-di-indonesia-tembus-213-juta-orang-hingga-awal-2023>
- Anwar, A. (2021). SEIRS model analysis for online game addiction. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Boyce, W. E., & DiPrima, R. C. (2009). *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems*, Textbook and Student Solutions Manual Set. 796.
- Dhia Diana Fitriani, J. K. (2021). Korelasi Kontrol Diri Dengan Kecanduan. *Journal Of Nursing Research*, 1-8.
- Fatahilla, A., Istiqomah, M., & Dafik. (2021). Pemodelan Matematika Pada Kasus Kecanduan Game Online Menggunakan Metode Runge-Kutta Orde 14. *Journal of Mathematics and Its Applications*, 129-141.
- Li, T., & Guo, Y. (2019). Stability and Optimal Control in a Mathematical Model. China: *Journal of Optimization Theory and Applications* (2022) 195:780–807 <https://doi.org/10.1007/s10957-022-02123-x>.
- Li, Y. G. (2021). Dynamics and optimal control of an online game addiction model with. *Faculty of Sciences and Mathematics, University of Nis, Serbia AIMS Mathematics*, 3745–3770.
- Filomat 33:17 (2019), 5691–5711 <https://doi.org/10.2298/FIL1917691L>.
- Muhammad, S. T., Apriliani, E., & Hanafi, L. (2015). Pengkajian Metode Extended Runge Kutta dan Penerapannya pada Persamaan Diferensial Biasa. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 4(2), 25–30.
- Ndii, M. Z. (2018). *Pemodelan Matematika Dinamika Populasi dan Penyebaran Penyakit: Teori, Aplikasi dan Numerik*. Deepublish, February, 68.
- Novriady, Eryzal (2019). *Kecanduan Game Online Pada Remaja Dampak Dan Penanganannya*. (Padang : UNP, 2019), Vol. 27, No. 2.
- Perko, L. (2010). *Differential Equation and Dynamical System*. New York: Springer Verlag.
- Safarina, L. H. (2019). Self-control and online game addiction in early. *Journal of Physics: Conference*.
- S. L. Ross. (2010). *Differential equations 3rd edition Shepley L.Ross.pdf*.
- Syafruddin Side, M. J. (2024). Optimal Control and Analysis of the SEIRS Model on the Problem of Online Game Addiction: A Case Study Among Class VIII Students of the State Junior High Schools in Makasar City. *International Journal of Applied Mathematics*, 232-237.
- Syahrar, R. (2015). Ketergantungan Online Game dan Penanganannya. *Jurnal Psikologi*, 84-92.
- Utami & Hodikoh (2020). Kecanduan Game Online Berhubungan dengan Penyesuaian Sosial pada Remaja. *Jurnal Keperawatan*. DOI: <https://doi.org/10.32583/keperawatan.v12i1.700>
- Widowati, & Sutimin. (2007). *Buku Ajar Pemodelan Matematika*. Semarang: Univeristas Diponegoro.
- Wijaya, Y. B., & Maulana, D. A. (2022). Model Dinamika Kecanduan Game Online Pada Gawai. *MATHunesa : Jurnal Ilmiah Matematika*