JIMAT
Jurnal Ilmiah Matematika
DOI: https://doi.org/10.63976/jimat.v7i4.1618

e-ISSN : 2774-1729
Volume. 7. Nomor 4. Halaman 834-846
Publikasi Online: 25 Oktober 2026

Model Matematika Dinamika Misinformasi dengan Intervensi Fact-Checking pada Interaksi Digital

Nur Rezky Rahamadhan[1], Danial[2]*

[1,2]Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar, Indonesia

Email Corresponding Author: Danial@unm.ac.id *

Info Artikel

Article history:

Kirim: 25/09/2026
Perbaikan: 10/10/2026
Terima: 21/20/2026
Publikasi: 25/10/2026

Kata-kata kunci:

Bifurkasi Transkritik;
Fact-Checking;
Interaksi Digital;
Misinformasi;
Sistem Dinamik;
Threshold Intervensi

ABSTRAK

Misinformation can persist in digital interactions even after corrections have been provided, highlighting the need for an analytical measure of intervention intensity capable of changing its dynamical regime. This study develops a three-state mathematical model consisting of individuals who do not believe misinformation and are not undergoing active correction, individuals who believe misinformation, and individuals who have received corrective information. Fact-checking intervention is modeled as a constant additional correction rate. The analysis encompasses conservation and positive invariance, equilibria, local stability, bifurcation, center manifold analysis, sensitivity analysis, and numerical simulations using the fourth-order Runge–Kutta method. The model yields a persistence index that decreases with increasing fact-checking intensity and an explicit intervention threshold. Under the assumed simulation parameters, this threshold is 0.20. Below the threshold, increasing intervention intensity reduces the equilibrium proportion of individuals believing misinformation but does not eliminate its persistence. At the threshold, two equilibrium branches exchange stability through a transcritical bifurcation, and the system exhibits critical slowing down. Simulations up to time 3000 show that the scaled values of misinformation prevalence, the corrected state, and the distance from the misinformation-free equilibrium approach asymptotic constants of 0.5, 2, and 2.5, respectively. Above the threshold, the misinformation-free equilibrium becomes stable. Numerical verification using step sizes of 0.02 and 0.01 yields conservation errors on the order of 10^{-14} and differences between numerical trajectories on the order of 10^{-13}. These findings distinguish subcritical interventions, which merely reduce misinformation persistence, from supercritical interventions, which induce a change in the dynamical regime. All model parameters and initial conditions are assumed for simulation purposes and are not estimated from empirical data on digital platform users.

1. PENDAHULUAN

Platform digital mempercepat pertukaran informasi sekaligus memperbesar peluang klaim keliru untuk berulang, menyebar, dan memengaruhi penilaian. Koreksi faktual umumnya meningkatkan akurasi keyakinan setelah paparan misinformasi, tetapi besar dan daya tahan efeknya bergantung pada isi, sumber, pengulangan, serta konteks penerima. Kajian psikologi menunjukkan bahwa efek misinformasi dapat berlanjut setelah koreksi, sedangkan eksperimen lintas negara menunjukkan bahwa peningkatan akurasi akibat fact-check tidak selalu bertahan dalam pengukuran berikutnya (Carey et al., 2022; Ecker et al., 2022; Westbrook et al., 2023).

JIMAT
Jurnal Ilmiah Matematika
e-ISSN : 2774-1729
Volume. 7. Nomor 4. Halaman 834-846
Publikasi Online: 25 Oktober 2026
DOI: https://doi.org/10.63976/jimat.v7i4.1618

Bukti empiris tidak mendukung penilaian sederhana bahwa seluruh koreksi selalu berhasil atau selalu gagal. Koreksi yang rinci, mengingatkan kembali klaim awal, dan memberi penjelasan alternatif cenderung lebih efektif (Prike & Ecker, 2023). Tinjauan lain menyimpulkan bahwa backfire jarang ditemukan, tetapi paparan terhadap koreksi yang relevan masih terbatas dan efek pada perilaku sering lebih kecil daripada efek pada akurasi keyakinan (Porter & Wood, 2024). Meta-analisis koreksi sains juga melaporkan heterogenitas yang berarti antartopik dan kondisi penelitian (Chan & Albarracín, 2023). Karena itu, model dinamik perlu memisahkan keberadaan koreksi dari intensitas mekanisme koreksinya.

Lingkungan digital menambah keragaman mekanisme intervensi. Koreksi oleh pengguna dapat memengaruhi penerima langsung dan pengamat percakapan, tetapi efektivitasnya bergantung pada kredibilitas dan penyajian (Bode et al., 2024). Eksperimen lapangan dengan bot koreksi menunjukkan bahwa sebagian besar pengguna tidak memberi respons yang teramati dan respons positif terkonsentrasi pada kelompok tertentu (Burel et al., 2024). Label kebenaran, pengingat, accuracy prompts, dan dorongan untuk memeriksa sumber juga dapat meningkatkan ketelitian atau mengurangi pembagian informasi yang keliru, walaupun mekanisme dan hasil ukurnya berbeda (Kemp et al., 2022; Matias, 2023; Pennycook & Rand, 2022).

Pendekatan matematika telah digunakan untuk menganalisis penyebaran rumor, debunking, moderasi, pendidikan, dan kontrol optimal. Jiang et al. (2021) merumuskan proses penyebaran dan debunking yang berlangsung secara resiprokal. Butts et al. (2023) membandingkan kebijakan moderasi konten, pendidikan, dan counter-campaign pada jaringan heterogen. Sun et al. (2024) mengembangkan model SEIHR dengan beberapa sikap pengguna, strategi imunisasi, dan kontrol optimal. Martalò et al. (2025) menganalisis prebunking konstan maupun bergantung waktu, sedangkan Martalò et al. (2026) membandingkan debunking dan prebunking dalam masalah kontrol optimal berhingga.

Literatur tersebut memperlihatkan bahwa intervensi terhadap misinformasi bukan gagasan baru. Banyak penelitian menekankan struktur kompartemen yang lebih rinci, heterogenitas jaringan, perbandingan kebijakan, atau optimasi intervensi pada horizon waktu tertentu. Namun, karakterisasi parsimonious mengenai intensitas fact-checking konstan sebagai parameter bifurkasi yang secara eksplisit menghasilkan threshold intervensi, pertukaran kestabilan, dan critical slowing masih relatif terbatas dalam literatur yang ditinjau. Pernyataan ini merupakan gap terarah, bukan klaim bahwa belum pernah ada model fact-checking.

Penelitian ini mengembangkan model minimal U-M-C. Keadaan U memuat individu yang belum mempercayai misinformasi dan tidak sedang terkoreksi aktif, M memuat individu yang mempercayai misinformasi, dan C memuat individu yang telah menerima koreksi. Intensitas fact-checking dinyatakan sebagai parameter konstan yang menambah laju perpindahan dari M ke C. Kebaruan penelitian terletak pada penggunaan parameter tersebut sebagai parameter bifurkasi sehingga threshold persistensi, intensitas kritis, pertukaran kestabilan, dan laju peluruhan pada kondisi kritis dapat diperoleh secara eksplisit.

JIMAT
Jurnal Ilmiah Matematika
DOI: https://doi.org/10.63976/jimat.v7i4.1618
e-ISSN : 2774-1729
Volume. 7. Nomor 4. Halaman 834-846
Publikasi Online: 25 Oktober 2026

Tujuan penelitian adalah merumuskan model dan daerah feasible, menentukan ekuilibrium serta kestabilannya, memperoleh indeks persistensi dan ambang intervensi, mengklasifikasikan bifurkasi transkritik, menurunkan critical slowing, menganalisis sensitivitas, dan memverifikasi hasil analitik melalui simulasi RK4. Semua parameter dan kondisi awal diperlakukan sebagai asumsi simulasi. Hasil tidak dimaksudkan sebagai estimasi prevalensi misinformasi atau efektivitas kebijakan pada platform tertentu.

2. METODE PENELITIAN

Desain dan Variabel Model

Penelitian menggunakan desain analitik-komputasional berbasis sistem persamaan diferensial biasa nonlinear. Populasi dinormalisasi menjadi satu. Variabel U(t) menyatakan proporsi individu yang belum mempercayai misinformasi dan tidak sedang terkoreksi aktif, M(t) menyatakan proporsi individu yang mempercayai misinformasi, dan C(t) menyatakan proporsi individu yang telah menerima koreksi. Hubungan konservasi awal ditetapkan sebagai berikut.

$$U(t) + M(t) + C(t) = 1 \tag{1}$$

Tabel 1. Variabel, parameter, dan nilai asumsi simulasi

Simbol	Definisi	Nilai asumsi
U(t)	Belum mempercayai misinformasi dan tidak sedang terkoreksi aktif	$U_0 = 0{,}70$
M(t)	Mempercayai misinformasi	$M_0 = 0{,}20$
C(t)	Telah menerima koreksi informasi	$C_0 = 0{,}10$
β	Kekuatan pengaruh misinformasi	0,40
γ	Laju koreksi dasar	0,20
δ	Laju melemahnya efek koreksi	0,10
η	Intensitas tambahan fact-checking	0,00; 0,05; 0,10; 0,20; 0,30

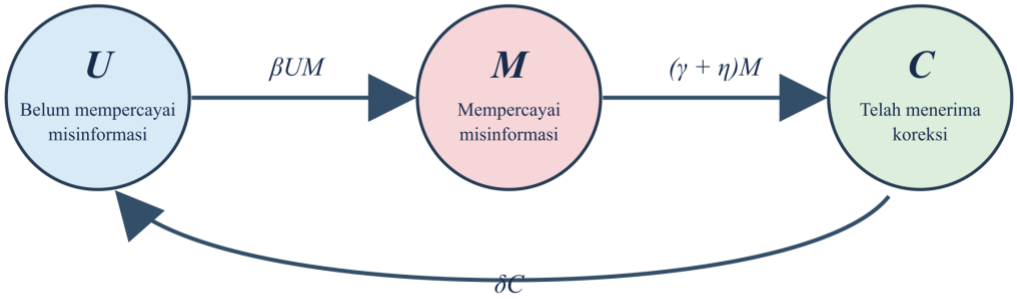
Asumsi dan Formulasi Sistem

Model menggunakan empat asumsi. Populasi tertutup dan setiap individu berada tepat pada satu keadaan. Interaksi antara U dan M bersifat homogen dan menghasilkan perpindahan U ke M dengan laju βUM. Koreksi dasar dan fact-checking memindahkan M ke C dengan laju total γ+η. Efek koreksi tidak permanen; keadaan C kembali ke U dengan laju δC. Parameter dianggap nonnegatif dan konstan pada horizon analisis.

$$\begin{aligned} \frac{\mathrm{dU}}{\mathrm{dt}} &= \delta C - \beta UM \\ \frac{\mathrm{dM}}{\mathrm{dt}} &= \beta UM - (\gamma+\eta)M \\ \frac{\mathrm{dC}}{\mathrm{dt}} &= (\gamma+\eta)M - \delta C \end{aligned} \tag{2}$$

JIMAT
Jurnal Ilmiah Matematika
DOI: https://doi.org/10.63976/jimat.v7i4.1618
e-ISSN : 2774-1729
Volume. 7. Nomor 4. Halaman 834-846
Publikasi Online: 25 Oktober 2026

Mekanisme perpindahan antarkeadaan dirangkum pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme perpindahan pada model U-M-C dengan intervensi fact-checking.

Daerah Feasible dan Reduksi Sistem

Penjumlahan ketiga persamaan diferensial menghilangkan seluruh aliran internal.

$$\frac{d}{\mathrm{dt}}(U+M+C) = 0 \tag{3}$$

$$\Omega = \{(U, M, C) \in R^3{}_+ : U + M + C = 1\} \tag{4}$$

Pada batas U=0, M=0, dan C=0, komponen medan vektor yang mengarah keluar masing-masing tidak negatif. Bersama Persamaan (3), kondisi ini menunjukkan bahwa Ω invariant positif. Substitusi U=1-M-C memberi sistem dua dimensi. Untuk meringkas notasi, digunakan g=γ+η.

$$\begin{gathered} M' = M(\beta - g - \beta M - \beta C) \\ C' = gM - \delta C \\ g = \gamma + \eta \end{gathered} \tag{5}$$

$$J(M, C) = \begin{pmatrix} \beta - g - 2\beta M - \beta C & -\beta M \\ g & -\delta \end{pmatrix} \tag{6}$$

Ekuilibrium Kestabilan dan Threshold

Ekuilibrium ditentukan dari sistem tereduksi, sedangkan kestabilan lokal ditentukan melalui jejak, determinan, dan nilai eigen Jacobian (Strogatz, 2015). Indeks persistensi diperoleh dari nilai eigen yang mengendalikan pertumbuhan M di sekitar keadaan tanpa misinformasi.

$$R_M(\eta) = \frac{\beta}{\gamma + \eta} \tag{7}$$

$$\begin{gathered} E_0 = (1, 0, 0) \\ \lambda_1 = \beta - (\gamma + \eta), \lambda_2 = -\delta \end{gathered} \tag{8}$$

JIMAT
Jurnal Ilmiah Matematika
e-ISSN : 2774-1729
Volume. 7. Nomor 4. Halaman 834-846
Publikasi Online: 25 Oktober 2026
DOI: https://doi.org/10.63976/jimat.v7i4.1618

$$U^* = \frac{\gamma+\eta}{\beta}$$
$$M^* = \frac{\delta}{\delta+\gamma+\eta}\left(1-\frac{\gamma+\eta}{\beta}\right) \quad (9)$$
$$C^* = \frac{\gamma+\eta}{\delta+\gamma+\eta}\left(1-\frac{\gamma+\eta}{\beta}\right)$$

Cabang E_1 feasible ketika $\gamma+\eta<\beta$. Ambang intervensi diperoleh dari kondisi indeks persistensi sama dengan satu.

$$\eta_c = \beta - \gamma \quad (10)$$

$$\mathrm{tr}J(E_1) = -\frac{\delta(\beta+\delta)}{\delta+\gamma+\eta} \quad (11)$$
$$\det J(E_1) = \delta(\beta-\gamma-\eta)$$

Bifurkasi Critical Slowing dan Sensitivitas

Untuk analisis lokal di sekitar ambang, didefinisikan parameter $\mu=\eta c-\eta$. Reduksi manifold pusat pada titik kritis menghasilkan bentuk normal berikut.

$$\mu = \eta_c - \eta$$
$$M' = \mu M - \frac{\beta(\delta+\beta)}{\delta}M^2 + O(|\mu|M^2 + M^3) \quad (12)$$

Koefisien linear berubah tanda pada $\mu=0$, sedangkan koefisien kuadratik bernilai negatif. Cabang trivial dan nontrivial berpotongan transversal, sehingga pertukaran kestabilan diklasifikasikan sebagai bifurkasi transkritik. Pada kondisi kritis, integrasi suku dominan memberi laju asimtotik berikut.

$$M(t) \sim \frac{\delta}{\beta(\delta+\beta)}\frac{1}{t}$$
$$C(t) \sim \frac{1}{\delta+\beta}\frac{1}{t} \quad (13)$$
$$1-U(t) \sim \frac{1}{\beta t}$$

$$\frac{dR_M}{d\eta} = -\frac{\beta}{(\gamma+\eta)^2} < 0$$
$$\frac{dM^*}{d\eta} = -\frac{\delta(\beta+\delta)}{\beta(\delta+\gamma+\eta)^2} < 0 \quad (14)$$

Rancangan Simulasi Numerik

Sistem diintegrasikan dengan metode Runge-Kutta klasik orde empat (Butcher, 2016). Untuk vektor keadaan y dan ruas kanan f, satu langkah dihitung sebagai berikut.

JIMAT
Jurnal Ilmiah Matematika
e-ISSN : 2774-1729
Volume. 7. Nomor 4. Halaman 834-846
Publikasi Online: 25 Oktober 2026
DOI: https://doi.org/10.63976/jimat.v7i4.1618

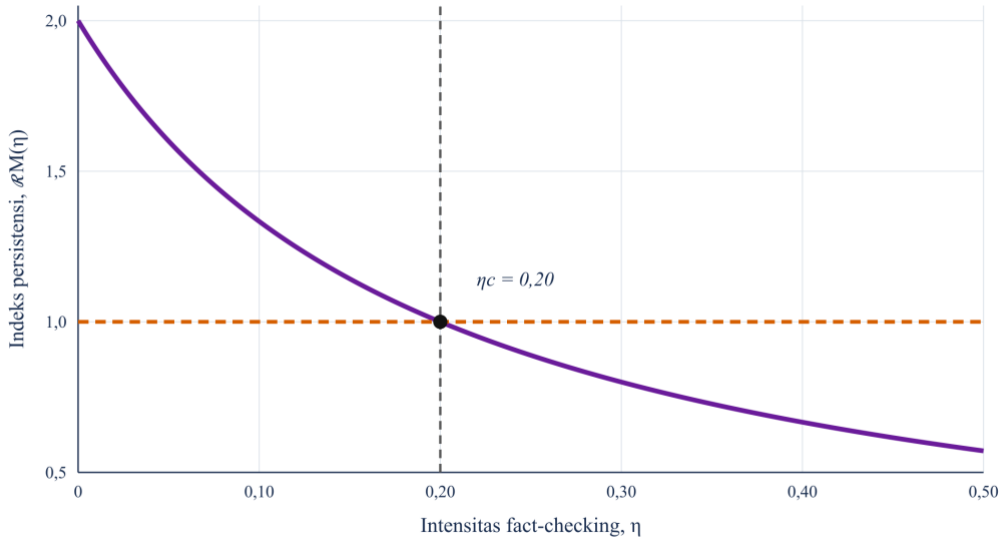
$$
\begin{aligned}
k_1 &= f(y_n) \\
k_2 &= f\left(y_n + \frac{h}{2}k_1\right) \\
k_3 &= f\left(y_n + \frac{h}{2}k_2\right) \\
k_4 &= f(y_n + hk_3) \\
y_{n+1} &= y_n + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)
\end{aligned}
\tag{15}
$$

Simulasi utama menggunakan h=0,02 dan diverifikasi dengan h=0,01. Horizon utama adalah t=300, sedangkan skenario kritis dilanjutkan sampai t=3000. Pemeriksaan mencakup konservasi, nonnegativitas, galat terhadap ekuilibrium analitik, dan selisih maksimum lintasan pada grid bersama. Seluruh perhitungan menggunakan aritmetika titik-mengambang presisi ganda.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Threshold dan Ekuilibrium

Dengan β=0,40 dan γ=0,20, Persamaan (10) memberi ηc=0,20. Indeks persistensi turun monoton dari 2 pada η=0 menjadi 0,8 pada η=0,30. Gambar 2 memperlihatkan perpotongan indeks dengan nilai satu tepat pada ambang tersebut.



Gambar 2. Penurunan indeks persistensi terhadap intensitas fact-checking dan titik kritis.

Tabel 2. Indeks persistensi dan ekuilibrium analitik

η	$R_m(\eta)$	U*	M*	C*	Ekuilibrium relevan
0,00	2,000000	0,500000	0,166667	0,333333	E_1 stabil
0,05	1,600000	0,625000	0,107143	0,267857	E_1 stabil
0,10	1,333333	0,750000	0,062500	0,187500	E_1 stabil
0,20	1,000000	1,000000	0	0	E_0=E_1 nonhiperbolik
0,30	0,800000	1,000000	0	0	E_0 stabil

JIMAT
Jurnal Ilmiah Matematika
DOI: https://doi.org/10.63976/jimat.v7i4.1618
e-ISSN : 2774-1729
Volume. 7. Nomor 4. Halaman 834-846
Publikasi Online: 25 Oktober 2026

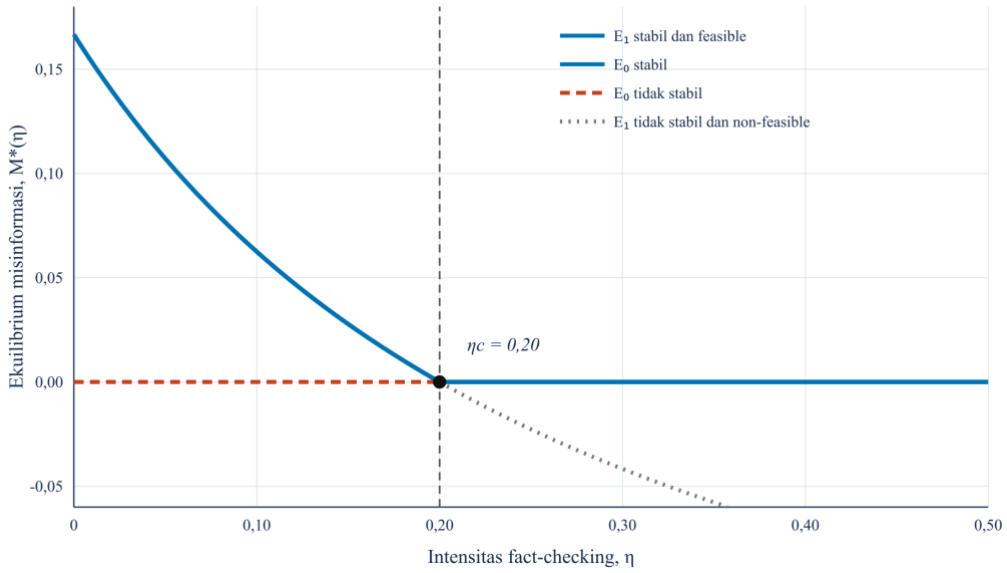
Tiga skenario subkritis tetap memiliki ekuilibrium persistensi, tetapi nilai M* turun dari 0,166667 menjadi 0,062500 ketika η naik dari 0 menjadi 0,10. Dengan demikian, intervensi subkritis tidak identik dengan kegagalan: intervensi tersebut menurunkan tingkat persistensi, walaupun belum mengubah keadaan jangka panjang menjadi bebas misinformasi. Pada η=0,30, cabang E_1 dari perpanjangan matematis mempunyai komponen negatif sehingga tidak feasible sebagai proporsi.

Kestabilan dan Bifurkasi Transkritik

Tabel 3. Nilai eigen dan status kestabilan cabang ekuilibrium

η	Cabang	Nilai eigen	Status
0,00	E_1	-0,083333 ± 0,114261i	Fokus stabil
0,05	E_1	-0,071429 ± 0,099488i	Fokus stabil
0,10	E_1	-0,062500 ± 0,078062i	Fokus stabil
0,20	E_0=E_1	0; -0,100000	Nonhiperbolik
0,30	E_0	-0,100000; -0,100000	Stabil asimtotik
0,30	E_1 (ekstensi)	0,066667; -0,150000	Saddle; non-feasible

Untuk η<0,20, E_0 memiliki satu nilai eigen positif dan E_1 stabil. Ketika η melewati 0,20, E_0 menjadi stabil, sementara perpanjangan E_1 tidak stabil dan keluar dari simplex. Bentuk normal pada Persamaan (12) menunjukkan bahwa kedua cabang berpotongan transversal dan bertukar kestabilan. Klasifikasi transkritik berlaku pada perpanjangan matematis sistem; hanya bagian cabang dengan semua komponen nonnegatif yang memiliki interpretasi populasi.

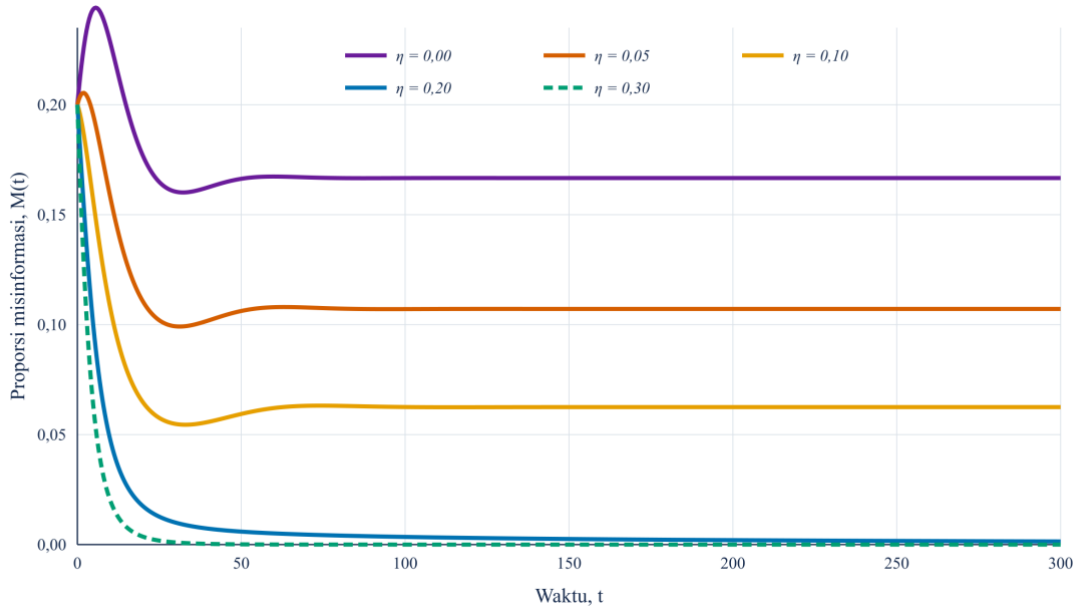


Gambar 3. Diagram bifurkasi transkritik untuk ekuilibrium M*(η); cabang non-feasible ditampilkan abu-abu bertitik.

JIMAT
Jurnal Ilmiah Matematika
e-ISSN : 2774-1729
Volume. 7. Nomor 4. Halaman 834-846
Publikasi Online: 25 Oktober 2026
DOI: https://doi.org/10.63976/jimat.v7i4.1618

Dinamika Lima Skenario

Simulasi RK4 mendukung klasifikasi analitik. Untuk η=0, η=0,05, dan η=0,10, lintasan mendekati E_1 masing-masing. Kenaikan η menurunkan M(t) dan nilai akhirnya. Pada η=0,30, M(t) turun cepat menuju nol. Pada η=0,20, M(t) juga menuju nol, tetapi jauh lebih lambat karena nilai eigen linear pada arah pusat sama dengan nol.
Perbandingan lintasan numerik ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan M(t) pada lima intensitas fact-checking hingga t=300.

Tabel 4. Solusi numerik pada horizon verifikasi

η	t	U(t)	M(t)	C(t)	Galat ekuilibrium
0,00	300	0,499999999997	0,166666666666	0,333333333336	$2{,}837\times10^{-12}$
0,05	300	0,625000000135	0,107142857116	0,267857142749	$1{,}350\times10^{-10}$
0,10	300	0,750000002341	0,062499999806	0,187499997853	$2{,}341\times10^{-9}$
0,20	3000	0,999183398122	0,000162891906	0,000653709972	$8{,}166\times10^{-4}$
0,30	300	1,000000000000	$1{,}479\times10^{-15}$	$2{,}900\times10^{-13}$	$2{,}927\times10^{-13}$

Galat pada skenario kritis masih lebih besar daripada skenario lain walaupun horizon diperpanjang sepuluh kali. Perbedaan ini bukan ketidakstabilan numerik. Ia merupakan konsekuensi peluruhan aljabar, sedangkan skenario hiperbolik mendekati ekuilibrium secara eksponensial atau eksponensial yang dikalikan faktor polinomial pada kasus nilai eigen berulang.

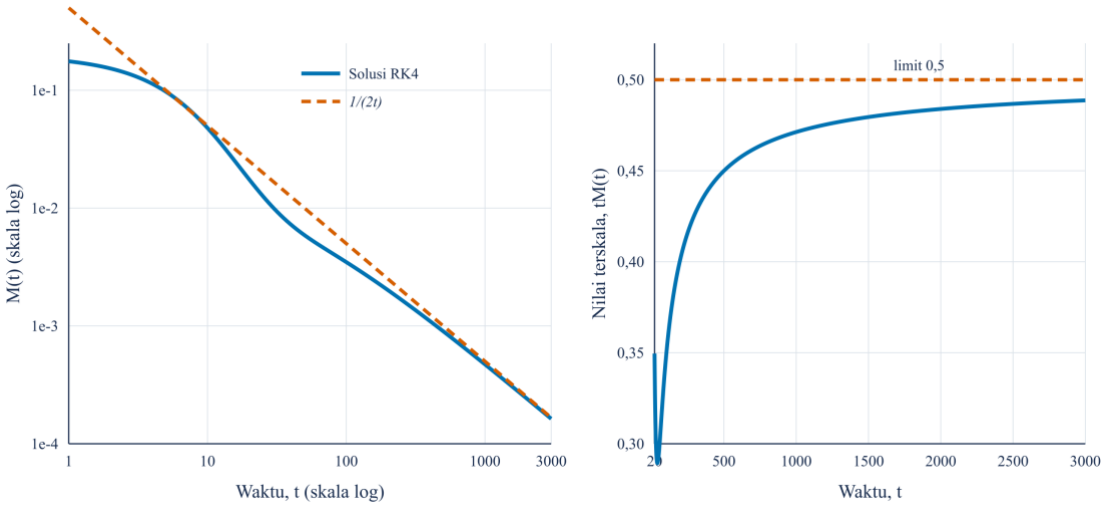
Critical Slowing

Pada η=0,20, koefisien kuadratik pada bentuk normal bernilai -2 pada orde dominan. Karena itu, M(t) mengikuti pendekatan asimtotik pada Persamaan (13), demikian pula C(t) dan 1-U(t). Simulasi memperlihatkan konvergensi bertahap menuju konstanta tersebut.

JIMAT
Jurnal Ilmiah Matematika
e-ISSN : 2774-1729
Volume. 7. Nomor 4. Halaman 834-846
Publikasi Online: 25 Oktober 2026
DOI: https://doi.org/10.63976/jimat.v7i4.1618

Tabel 5. Verifikasi konstanta asimtotik pada skenario kritis

t	M(t)	C(t)	tM(t)	tC(t)	t[1-U(t)]
100	0,003480261	0,015276462	0,348026	1,527646	1,875672
300	0,001421438	0,005862184	0,426431	1,758655	2,185087
1000	0,000471289	0,001903415	0,471289	1,903415	2,374704
3000	0,000162892	0,000653710	0,488676	1,961130	2,449806
Limit	-	-	0,500000	2,000000	2,500000



Gambar 5. Critical slowing pada η=0,20: solusi numerik, pendekatan asimtotik, dan limit nilai terskala.

Pada t=3000, penyimpangan relatif tM(t) terhadap 0,5 sekitar 2,26 persen; penyimpangan tC(t) terhadap 2 sekitar 1,94 persen; dan penyimpangan t[1-U(t)] terhadap 2,5 sekitar 2,01 persen. Arah konvergensi konsisten dengan analisis manifold pusat. Perilaku ini penting secara interpretatif karena observasi pada horizon sedang dapat memberi kesan bahwa misinformasi masih menetap, padahal model berada tepat pada ambang dan tetap menuju E_0 secara aljabar.

Konservasi Nonnegativitas dan Ukuran Langkah

Tabel 6. Verifikasi konservasi dan perbandingan ukuran langkah

η	Horizon	Maks. |Σ-1| h=0,02	Maks. |Σ-1| h=0,01	Min. komponen	Maks. selisih
0,00	300	$4{,}663\times10^{-15}$	$4{,}663\times10^{-15}$	0,100000	$7{,}938\times10^{-14}$
0,05	300	$4{,}219\times10^{-15}$	$5{,}218\times10^{-15}$	0,099135	$8{,}704\times10^{-14}$
0,10	300	$4{,}219\times10^{-15}$	$6{,}550\times10^{-15}$	0,054492	$1{,}445\times10^{-13}$
0,20	3000	$1{,}354\times10^{-14}$	$3{,}131\times10^{-14}$	0,000163	$2{,}972\times10^{-13}$
0,30	300	$5{,}551\times10^{-15}$	$5{,}107\times10^{-15}$	$1{,}479\times10^{-15}$	$3{,}371\times10^{-13}$

Seluruh komponen tetap nonnegatif. Galat konservasi berada pada skala pembulatan titik-mengambang dan selisih maksimum antara dua ukuran langkah tidak melebihi $3{,}371\times10^{-13}$. Dengan demikian, pola ekuilibrium dan critical slowing tidak berasal dari pemilihan langkah utama.

JIMAT
Jurnal Ilmiah Matematika
e-ISSN : 2774-1729
Volume. 7. Nomor 4. Halaman 834-846
Publikasi Online: 25 Oktober 2026
DOI: https://doi.org/10.63976/jimat.v7i4.1618

Sensitivitas dan Implikasi Model

Persamaan (14) menunjukkan bahwa intensitas fact-checking menurunkan indeks persistensi dan M* secara monoton pada wilayah feasible. Pada $\eta=0$, $\eta=0{,}05$, dan $\eta=0{,}10$, sensitivitas absolut M* terhadap η masing-masing adalah -1,388889, -1,020408, dan -0,781250. Penurunan nilai mutlak sensitivitas menunjukkan bahwa tambahan intervensi tetap bermanfaat, tetapi perubahan marjinal ekuilibrium mengecil ketika sistem mendekati ambang dari bawah.

Perbedaan subkritis dan superkritis merupakan hasil utama model. Intervensi subkritis mengurangi beban jangka panjang tanpa menghilangkan ekuilibrium persistensi. Intervensi kritis menghilangkan tingkat persistensi positif, tetapi menghasilkan pemulihan yang sangat lambat. Intervensi superkritis membuat keadaan bebas misinformasi stabil dengan laju lokal yang ditentukan oleh jarak terhadap ambang dan laju pelemahan koreksi. Interpretasi ini bersifat mekanistik dan kondisional terhadap asumsi pencampuran homogen serta parameter konstan.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas *fact-checking* berperan penting dalam menentukan perubahan dinamika penyebaran misinformasi pada interaksi digital. Berdasarkan analisis ekuilibrium dan kestabilan, peningkatan intensitas *fact-checking* tidak selalu secara langsung menghilangkan misinformasi, tetapi dapat menurunkan proporsi individu yang mempercayainya pada keadaan setimbang. Hal ini terlihat dari penurunan proporsi misinformasi dari 0,166667 menjadi 0,062500 ketika intensitas intervensi meningkat dari 0 menjadi 0,10. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa efektivitas intervensi perlu dipahami berdasarkan kemampuan mengurangi persistensi sekaligus mengubah kestabilan sistem. Secara konseptual, hasil ini sejalan dengan pandangan Carey et al. (2022) dan Ecker et al. (2022) yang menjelaskan bahwa koreksi informasi tidak selalu menghilangkan pengaruh misinformasi secara langsung maupun permanen. Selain itu, penelitian Jiang et al. (2021) dan Butts et al. (2023) menunjukkan pentingnya mekanisme koreksi dan kebijakan mitigasi dalam dinamika penyebaran informasi yang keliru. Berbeda dari penelitian tersebut, model yang dikembangkan dalam penelitian ini secara khusus memperlihatkan adanya ambang intensitas *fact-checking* yang menentukan perubahan rezim kestabilan melalui bifurkasi transkritik.

Temuan penting lainnya adalah munculnya fenomena *critical slowing* ketika intensitas *fact-checking* mencapai nilai kritis sebesar 0,20 berdasarkan parameter asumsi simulasi. Pada kondisi tersebut, proporsi individu yang mempercayai misinformasi tetap menuju nol, tetapi proses konvergensinya berlangsung secara aljabar sehingga membutuhkan waktu yang relatif panjang dibandingkan kondisi intervensi di atas ambang. Fenomena ini menunjukkan bahwa tercapainya intensitas intervensi kritis tidak selalu menghasilkan penurunan misinformasi secara cepat. Dari perspektif pemodelan matematika, hasil tersebut memberikan kontribusi berupa karakterisasi hubungan antara intensitas koreksi, perubahan kestabilan ekuilibrium, dan kecepatan peluruhan misinformasi. Implikasi teoretisnya adalah bahwa evaluasi intervensi *fact-checking* perlu mempertimbangkan tingkat persistensi dan karakteristik transien sistem, bukan hanya kondisi ekuilibrium akhirnya. Meskipun demikian, interpretasi tersebut masih terbatas

JIMAT
Jurnal Ilmiah Matematika
e-ISSN : 2774-1729
Volume. 7. Nomor 4. Halaman 834-846
Publikasi Online: 25 Oktober 2026
DOI: https://doi.org/10.63976/jimat.v7i4.1618

pada asumsi populasi homogen, parameter konstan, dan kondisi awal yang ditentukan untuk simulasi. Oleh karena itu, pengembangan model dengan mempertimbangkan heterogenitas pengguna, struktur jaringan digital, serta estimasi parameter berdasarkan data empiris diperlukan untuk menguji relevansi hasil terhadap dinamika misinformasi pada platform digital yang sebenarnya.

Keterbatasan

Model tidak membedakan paparan, kepercayaan, dan perilaku berbagi; tidak memasukkan heterogenitas jaringan, kredibilitas sumber, pengulangan pesan, atau keterlambatan fact-checking; dan tidak mengestimasi parameter dari data. Intensitas η merangkum berbagai proses menjadi satu laju konstan. Karena itu, nilai ambang 0,20 hanya berlaku untuk parameter asumsi dalam artikel ini. Kalibrasi empiris, analisis identifiabilitas, ketidakpastian parameter, struktur jaringan, dan intervensi berubah waktu diperlukan sebelum model digunakan untuk menilai kebijakan platform.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan model U-M-C yang parsimonious untuk menganalisis intensitas fact-checking sebagai parameter bifurkasi pada dinamika misinformasi. Hukum konservasi dan arah medan vektor pada batas menunjukkan bahwa simpleks proporsi invariant positif. Analisis ekuilibrium menghasilkan indeks persistensi yang menurun monoton terhadap intervensi dan ambang eksplisit yang bernilai 0,20 pada parameter asumsi. Untuk intervensi di bawah ambang, ekuilibrium persistensi tetap stabil, tetapi proporsi misinformasi jangka panjang turun ketika intensitas fact-checking meningkat. Pada ambang, ekuilibrium persistensi bertemu ekuilibrium tanpa misinformasi dan keduanya bertukar kestabilan melalui bifurkasi transkritik. Reduksi manifold pusat menunjukkan critical slowing dengan peluruhan berorde invers waktu. Simulasi hingga t=3000 mendukung konstanta asimtotik 0,5 untuk tM(t), 2 untuk tC(t), dan 2,5 untuk t[1-U(t)]. Untuk intervensi di atas ambang, ekuilibrium tanpa misinformasi stabil, sedangkan cabang nontrivial dari perpanjangan matematis tidak feasible. Simulasi RK4 pada lima skenario konsisten dengan ekuilibrium dan nilai eigen analitik. Verifikasi h=0,01 mempertahankan nonnegativitas, konservasi pada orde 10 pangkat minus 14, dan perbedaan lintasan pada orde 10 pangkat minus 13. Model dengan demikian membedakan tiga makna kebijakan: intervensi subkritis mengurangi persistensi, intervensi kritis menghilangkan ekuilibrium positif tetapi menghasilkan transien panjang, dan intervensi superkritis mengubah rezim kestabilan. Seluruh hasil bergantung pada struktur model serta parameter asumsi dan tidak boleh dibaca sebagai estimasi perilaku pengguna platform. Penelitian lanjutan perlu mengestimasi parameter dari data longitudinal, menguji identifiabilitas, memasukkan jaringan serta heterogenitas individu, memodelkan keterlambatan koreksi, dan membandingkan intervensi konstan dengan kontrol bergantung waktu.

JIMAT
Jurnal Ilmiah Matematika
e-ISSN : 2774-1729
Volume. 7. Nomor 4. Halaman 834-846
Publikasi Online: 25 Oktober 2026
DOI: https://doi.org/10.63976/jimat.v7i4.1618

REFERENSI

Arechar, A. A., Allen, J., Berinsky, A. J., Cole, R., Epstein, Z., Garimella, K., et al. (2023). Understanding and combatting misinformation across 16 countries on six continents. *Nature Human Behaviour, 7*, 1502-1513. https://doi.org/10.1038/s41562-023-01641-6

Bode, L., Vraga, E. K., & Tang, R. (2024). User correction. *Current Opinion in Psychology, 56*, 101786. https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2023.101786

Burel, G., Tavakoli, M., & Alani, H. (2024). Exploring the impact of automated correction of misinformation in social media. *AI Magazine, 45*(2), 227-245. https://doi.org/10.1002/aaai.12180

Butcher, J. C. (2016). *Numerical methods for ordinary differential equations* (3rd ed.). Wiley.

Butts, D. J., Bollman, S. A., & Murillo, M. S. (2023). Mathematical modeling of disinformation and effectiveness of mitigation policies. *Scientific Reports, 13*, 18735. https://doi.org/10.1038/s41598-023-45710-2

Carey, J. M., Guess, A. M., Loewen, P. J., Merkley, E., Nyhan, B., Phillips, J. B., & Reifler, J. (2022). The ephemeral effects of fact-checks on COVID-19 misperceptions in the United States, Great Britain and Canada. *Nature Human Behaviour, 6*, 236-243. https://doi.org/10.1038/s41562-021-01278-3

Chan, M.-p. S., & Albarracín, D. (2023). A meta-analysis of correction effects in science-relevant misinformation. *Nature Human Behaviour, 7*, 1514-1525. https://doi.org/10.1038/s41562-023-01623-8

Ecker, U. K. H., Lewandowsky, S., Cook, J., Schmid, P., Fazio, L. K., Brashier, N., Kendeou, P., Vraga, E. K., & Amazeen, M. A. (2022). The psychological drivers of misinformation belief and its resistance to correction. *Nature Reviews Psychology, 1*, 13-29. https://doi.org/10.1038/s44159-021-00006-y

Jiang, M., Gao, Q., & Zhuang, J. (2021). Reciprocal spreading and debunking processes of online misinformation: A new rumor spreading-debunking model with a case study. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 565*, 125572. https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125572

Kemp, P. L., Loaiza, V. M., & Wahlheim, C. N. (2022). Fake news reminders and veracity labels differentially benefit memory and belief accuracy for news headlines. *Scientific Reports, 12*, 21829. https://doi.org/10.1038/s41598-022-25649-6

Lewandowsky, S., Ecker, U. K. H., & Cook, J. (2017). Beyond misinformation: Understanding and coping with the post-truth era. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition, 6*(4), 353-369. https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2017.07.008

Martalò, G., Menale, M., & Travaglini, R. (2025). Modeling prebunking strategies to contain misinformation spread. *Results in Applied Mathematics, 26*, 100591. https://doi.org/10.1016/j.rinam.2025.100591

Martalò, G., Menale, M., & Travaglini, R. (2026). Controlling misinformation spread through debunking and prebunking strategies. *Ricerche di Matematica*. Advance online publication. https://doi.org/10.1007/s11587-026-01122-8

Matias, J. N. (2023). Influencing recommendation algorithms to reduce the spread of unreliable news by encouraging humans to fact-check articles, in a field experiment. *Scientific Reports, 13*, 11715. https://doi.org/10.1038/s41598-023-38277-5

Pennycook, G., & Rand, D. G. (2022). Accuracy prompts are a replicable and generalizable approach for reducing the spread of misinformation. *Nature Communications, 13*, 2333. https://doi.org/10.1038/s41467-022-30073-5

JIMAT
Jurnal Ilmiah Matematika
DOI: https://doi.org/10.63976/jimat.v7i4.1618
e-ISSN : 2774-1729
Volume. 7. Nomor 4. Halaman 834-846
Publikasi Online: 25 Oktober 2026

Porter, E., & Wood, T. J. (2024). Factual corrections: Concerns and current evidence. *Current Opinion in Psychology, 55*, 101715. https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2023.101715

Prike, T., & Ecker, U. K. H. (2023). Effective correction of misinformation. *Current Opinion in Psychology, 54*, 101712. https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2023.101712

Strogatz, S. H. (2015). *Nonlinear dynamics and chaos: With applications to physics, biology, chemistry, and engineering* (2nd ed.). Westview Press.

Sun, X., Wang, Y., Chai, Y., & Liu, Y. (2024). Dynamic analysis and control strategies of the SEIHR rumor diffusion model in online social networks. *Applied Mathematical Modelling, 134*, 611-634. https://doi.org/10.1016/j.apm.2024.06.005

Westbrook, V., Wegener, D. T., & Susmann, M. W. (2023). Mechanisms in continued influence: The impact of misinformation corrections on source perceptions. *Memory & Cognition, 51*(6), 1317-1330. https://doi.org/10.3758/s13421-023-01402-w