



**PEMODELAN MATEMATIKA DINAMIKA KARBON DIOKSIDA UNTUK
MITIGASI PERUBAHAN IKLIM**

SKRIPSI

**untuk memenuhi persyaratan
dalam menyelesaikan program sarjana Strata-1 Matematika**

**Oleh:
NOORUL WAKHDAH
NIM. 22110111200003**

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARBARU
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

PEMODELAN MATEMATIKA DINAMIKA KARBON DIOKSIDA UNTUK MITIGASI PERUBAHAN IKLIM

Oleh:
NOORUL WAKHDAH
NIM. 22110111200003

telah dipertahankan di depan Dosen Penguji pada tanggal 23 Juli 2026

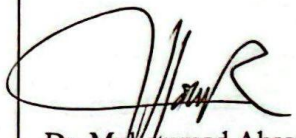
Susunan Dosen Penguji:

Pembimbing 1

Dosen Penguji:

1. Dr. Yuni Yulida, S.Si., M.Sc.

2. Oni Soesanto, S.Si., M.Si.



Dr. Muhammad Ahsar K., S.Si., M.Sc.
NIP. 198202082005011003

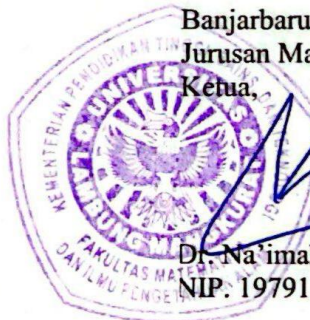
Pembimbing 2



Drs. Faisal, M.Si.
NIP. 196309021992031001



Banjarbaru, 28 Juli 2026
Jurusan Matematika FMIPA ULM
Ketua,

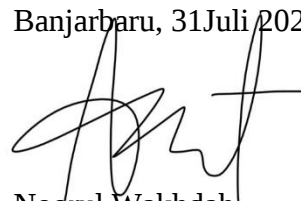


Dr. Na'imah Hijriati, S.Si., M.Si.
NIP. 197911222008012013

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Pustaka.

Banjarbaru, 31 Juli 2025



Noorul Wakhdah
NIM. 2211011120003

ABSTRAK

PEMODELAN MATEMATIKA DINAMIKA KARBON DIOKSIDA UNTUK MITIGASI PERUBAHAN IKLIM (Oleh: Noorul Wakhdah; Pembimbing: Muhammad Ahsar K., Faisal; 2025; 121 halaman)

Perubahan iklim merupakan fenomena pergeseran pola iklim akibat meningkatnya konsentrasi CO_2 di atmosfer yang dihasilkan dari aktivitas antropogenik. Pengendalian emisi dan konsentrasi CO_2 di atmosfer perlu dilakukan untuk mengurangi dampak negatif perubahan iklim melalui berbagai upaya mitigasi. Namun, dampak perubahan iklim tidak dapat dikurangi hanya dengan menerapkan salah satu upaya mitigasi, sehingga diperlukan penerapan gabungan dari berbagai upaya mitigasi perubahan iklim. Penelitian ini membahas model dinamika karbon dioksida untuk mitigasi perubahan iklim yang terdiri dari lima variabel keadaan, yaitu konsentrasi CO_2 di atmosfer, kepadatan biomassa fotosintetik, kebijakan konservasi, program peningkatan kesadaran, dan teknologi *Direct Air Capture* (DAC). Tujuan dari penelitian ini adalah menjelaskan pembentukan model dinamika karbon dioksida, menentukan titik kesetimbangan dan bilangan konsentrasi, menganalisis kestabilan lokal, melakukan analisis sensitivitas bilangan konsentrasi, dan membuat simulasi numerik. Penelitian ini menggunakan beberapa metode, diantaranya *Next Generation Matrix*, linearisasi, dan Runge–Kutta orde empat. Hasil penelitian ini adalah terbentuknya model dinamika karbon dioksida untuk mitigasi perubahan iklim. Berdasarkan model yang dibentuk, diperoleh titik kesetimbangan bebas CO_2 dan intervensi manusia, titik kesetimbangan bebas biomassa fotosintetik, dan titik kesetimbangan mitigasi perubahan iklim. Hasil analisis kestabilan di titik kesetimbangan pada model stabil asimtotik lokal di semua titik kesetimbangan. Selanjutnya, hasil analisis sensitivitas menunjukkan parameter yang paling berpengaruh terhadap bilangan konsentrasi adalah *carrying capacity* CO_2 di atmosfer, laju peningkatan biomassa fotosintetik akibat CO_2 , dan laju intrinsik biomassa fotosintetik. Selain itu, simulasi numerik menunjukkan bahwa titik kesetimbangan bebas CO_2 dan intervensi manusia, titik kesetimbangan bebas biomassa fotosintetik, serta titik kesetimbangan mitigasi perubahan iklim stabil asimtotik lokal.

Kata Kunci: Karbon Dioksida, Mitigasi Perubahan Iklim, Analisis Kestabilan Lokal, Metode Runge–Kutta Orde Empat.

ABSTRACT

MATHEMATICAL MODELING OF CARBON DIOXIDE DYNAMICS FOR CLIMATE CHANGE MITIGATION (By: Noorul Wakhdah; Supervisor: Muhammad Ahsar K., Faisal; 2025; 121 pages)

Climate change is a phenomenon characterized by shifts in climate patterns caused by the increasing concentration of atmospheric CO_2 resulting from anthropogenic activities. Controlling CO_2 emissions and atmospheric CO_2 concentrations is essential to reduce the adverse impacts of climate change through various mitigation efforts. However, the impacts of climate change cannot be effectively reduced by implementing a single mitigation strategy alone; therefore, an integrated implementation of multiple climate change mitigation efforts is required. This study discusses a carbon dioxide dynamics model for climate change mitigation consisting of five state variables: atmospheric CO_2 concentration, photosynthetic biomass density, conservation policy, public awareness programs, and Direct Air Capture (DAC) technology. The objectives of this study are to formulate the carbon dioxide dynamics model, determine the equilibrium points and concentration number, analyze the local stability of the equilibrium points, perform a sensitivity analysis of the concentration number, and conduct numerical simulations. The methods employed in this study include the Next Generation Matrix method, linearization, and the fourth order Runge-Kutta method. The results of this study show the successful formulation of a carbon dioxide dynamics model for climate change mitigation. Based on the proposed model, three equilibrium points were obtained: the CO_2 and human intervention-free equilibrium point, the photosynthetic biomass-free equilibrium point, and the climate change mitigation equilibrium point. The local stability analysis indicates that the model is locally asymptotically stable at all equilibrium points. Furthermore, the sensitivity analysis reveals that the parameters with the greatest influence on the concentration number are the carrying capacity of atmospheric CO_2 , the rate of increase in photosynthetic biomass due to CO_2 , and the intrinsic growth rate of photosynthetic biomass. In addition, the numerical simulations demonstrate that the CO_2 and human intervention-free equilibrium point, the photosynthetic biomass-free equilibrium point, and the climate change mitigation equilibrium point are all locally asymptotically stable.

Keywords: Carbon Dioxide, Climate Change Mitigation, Local Stability Analysis, , Fourth-Order Runge–Kutta Method.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah subhanahu wa ta'ala, Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“PEMODELAN MATEMATIKA DINAMIKA KARBON DIOKSIDA UNTUK MITIGASI PERUBAHAN IKLIM”**. Sholawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Besar Muhammad sallallahu `alaihi wasallam beserta kerabat, sahabat, serta pengikut Beliau hingga akhir zaman.

Penyusunan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan program sarjana Strata-1 Matematika di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, masih terdapat kekurangan baik dalam penulisan maupun pembahasan materi. Selain itu, proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, maupun bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Drs. Abdul Gafur, M.Si., M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lambung Mangkurat.
2. Ibu Dr. Na'imah Hijriati, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lambung Mangkurat.
3. Bapak Dr. Pardi Affandi, S.Si., M.Sc., selaku dosen penasihat akademik penulis yang telah memberikan arahan, motivasi, dan bimbingan selama perkuliahan.
4. Bapak Dr. Muhammad Ahsar K., S.Si., M.Sc. dan Bapak Drs. Faisal, M.Si., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, dan motivasi dalam proses penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Dr. Yuni Yulida, S.Si., M.Sc. dan Oni Soesanto, S.Si., M.Si. Selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan, kritik, dan saran sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.

6. Seluruh dosen pengajar/staf Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lambung Mangkurat atas arahan dan bantuannya, baik selama masa perkuliahan maupun penyusunan skripsi ini.
7. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang senantiasa memberikan do`a, motivasi, serta dukungan, baik secara moral maupun materi, sehingga penulis terus belajar dan melalui setiap proses hingga skripsi ini dapat diselesaikan.
8. Seluruh teman dan rekan mahasiswa/i Jurusan Matematika angkatan 2022, serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan, masukan, dan saran selama penyusunan skripsi ini.

Skripsi ini telah diupayakan agar dapat tersaji dengan sebaik mungkin. Namun, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, baik dalam penulisan maupun dalam pembahasan materi. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk dijadikan masukan untuk perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya, khususnya mahasiswa Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lambung Mangkurat.

Banjarbaru, 31 Juli 2026



Noorul Wakhdah
NIM. 2211011120003

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

$C(t)$	: Konsentrasi CO_2 di atmosfer ($\mu mol/mol$)
$P(t)$	: Kepadatan biomassa fotosintetik (kg/m^2)
$R(t)$	: Kebijakan konservasi ($kebijakan/km^2$)
$E(t)$	: Program peningkatan kesadaran ($program/km^2$)
$T(t)$	: Teknologi <i>Direct Air Capture</i> (DAC) ($unit/km^2$)
t	: Waktu
β	: Laju peningkatan emisi dan konsentrasi CO_2 di atmosfer akibat aktivitas antropogenik seperti deforestasi, konsumsi bahan bakar fosil, serta aktivitas industri dan pertambangan.
C_m	: Ambang batas (<i>carrying capacity</i>) konsentrasi CO_2 di atmosfer, yang muncul akibat keterbatasan aktivitas antropogenik penghasil emisi CO_2 .
d_1	: Laju penurunan konsentrasi CO_2 akibat penyerapan CO_2 oleh biomassa fotosintetik untuk proses fotosintesis.
d_2	: Laju penurunan konsentrasi CO_2 akibat penerapan kebijakan konservasi seperti reforestasi, reboisasi, dan pengelolaan hutan berkelanjutan.
d_3	: Laju penurunan konsentrasi CO_2 akibat penerapan program peningkatan kesadaran yang mendorong perilaku masyarakat menuju perilaku rendah karbon.
d_4	: Laju penurunan konsentrasi CO_2 akibat penerapan teknologi DAC yang dapat menangkap, menyimpan, dan memanfaatkan kembali CO_2 .
μ_0	: Laju penurunan konsentrasi CO_2 secara alami.
ω	: Laju intrinsik pertumbuhan biomassa fotosintetik.
N	: Ambang batas (<i>carrying capacity</i>) biomassa fotosintetik akibat keterbatasan lahan dan sumber daya.
ϕ	: Laju peningkatan biomassa fotosintetik akibat pemanfaatan CO_2 dalam proses fotosintesis yang mendukung pertumbuhan biomassa fotosintetik.
τ	: Laju peningkatan biomassa fotosintetik akibat interaksi antara biomassa fotosintetik dan kebijakan konservasi.
μ_1	: Laju penurunan biomassa fotosintetik akibat fenomena alam yang merusak lingkungan seperti kebakaran hutan akibat cuaca ekstrem dan longsor.
μ_2	: Laju penurunan biomassa fotosintetik akibat aktivitas antropogenik seperti deforestasi yang tidak terkendali.
α_1	: Tingkat keberhasilan penerapan kebijakan konservasi.

- a_0 : Laju pengabaian terhadap penerapan kebijakan konservasi.
- b_1 : Tingkat keberhasilan pelaksanaan program peningkatan kesadaran.
- b_0 : Laju pengabaian terhadap pelaksanaan program peningkatan kesadaran.
- m_1 : Tingkat keberhasilan penerapan teknologi DAC
- m_0 : Laju pengabaian terhadap penerapan teknologi DAC.
- ε_0 : Titik kesetimbangan bebas mitigasi.
- ε_1 : Titik kesetimbangan bebas CO_2 dan intervensi manusia.
- ε_2 : Titik kesetimbangan bebas biomassa fotosintetik.
- ε_3 : Titik kesetimbangan mitigasi perubahan iklim.
- C_* : Bilangan konsentrasi.
- J : Matriks Jacobian.
- G : *Next Generation Matriks*.
- λ^* : Nilai eigen dari persamaan karakteristik pada penentuan bilangan konsentrasi.
- λ : Nilai eigen dari persamaan karakteristik pada analisis kestabilan.

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
PRAKATA	vi
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Persamaan Diferensial	6
2.2 Sistem Persamaan Diferensial.....	7
2.2.1 Sistem Persamaan Diferensial Linier.....	7
2.2.2 Sistem Persamaan Diferensial Nonlinier	9
2.3 Titik Keseimbangan.....	10
2.4 Linierisasi.....	10
2.5 Determinan Matriks dan Ekspansi Kofaktor.....	12
2.6 Nilai Eigen dan Vektor Eigen	14
2.7 Bilangan Konsentrasi	16
2.8 Bentuk Eselon Baris Tereduksi dan Metode Gauss-Jordan.....	18
2.9 Kriteria Routh-Hurwitz	19
2.10 Analisis Kestabilan	20
2.11 Analisis Sensitivitas	20
2.12 Metode Runge-Kutta Orde Empat	21
2.13 Kebijakan Konservasi	22
2.14 Program Peningkatan Kesadaran	22

2.15 Teknologi <i>Direct Air Capture</i> (DAC).....	23
BAB III PROSEDUR PENELITIAN	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Pembentukan Model Matematika Dinamika Karbon Dioksida untuk Mitigasi Perubahan Iklim	26
4.2 Titik Keseimbangan pada Model Matematika Dinamika Karbon Dioksida untuk Mitigasi Perubahan Iklim.....	32
4.2.1 Bilangan Konsentrasi (C_*).....	33
4.2.2 Titik Keseimbangan Bebas CO_2 dan Intervensi Manusia.....	41
4.2.3 Titik Keseimbangan Bebas Biomassa Fotosintetik	43
4.2.4 Titik Keseimbangan Mitigasi Perubahan Iklim	45
4.3 Analisis Kestabilan Lokal	49
4.3.1 Kestabilan di Titik Keseimbangan Bebas CO_2 dan Intervensi Manusia ..	52
4.3.2 Kestabilan di Titik Keseimbangan Bebas Biomassa Fotosintetik	55
4.3.3 Kestabilan di Titik Keseimbangan Mitigasi Perubahan Iklim.....	58
4.4 Analisis Sensitivitas pada Bilangan Konsentrasi	64
4.5 Simulasi Numerik Model Matematika Dinamika Karbon Dioksida untuk Mitigasi Perubahan Iklim.....	71
4.5.1 Simulasi Numerik di Titik Keseimbangan Bebas CO_2 dan Intervensi Manusia.....	72
4.5.2 Simulasi Numerik di Titik Keseimbangan Bebas Biomassa Fotosintetik	84
4.5.3 Simulasi Numerik di Titik Keseimbangan Mitigasi Perubahan Iklim..	98
BAB V PENUTUP	115
5.1 Kesimpulan	115
5.2 Saran	116
DAFTAR PUSTAKA	119

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 4.1 Diagram Alir Model Dinamika Karbon Dioksida untuk Mitigasi Perubahan Iklim	28
Gambar 4.2 Perubahan Nilai C_* Terhadap Variasi Nilai ω	69
Gambar 4.3 Perubahan Nilai C_* Terhadap Variasi Nilai C_m	70
Gambar 4.4 Perubahan Nilai C_* Terhadap Variasi Nilai ϕ	70
Gambar 4.5 Simulasi Numerik di Titik ε_1 : (a) Dinamika Konsentrasi CO_2 di Atmosfer, (b) Dinamika Kepadatan Biomassa Fotosintetik, (c) Dinamika Kebijakan Konservasi, (d) Dinamika Program Peningkatan Kesadaran, (e) Dinamika Teknologi DAC	83
Gambar 4.6 Simulasi Numerik di Titik Keseimbangan ε_1	83
Gambar 4.7 Simulasi Numerik di Titik ε_2 : (a) Dinamika Konsentrasi CO_2 di Atmosfer, (b) Dinamika Kepadatan Biomassa Fotosintetik, (c) Dinamika Kebijakan Konservasi, (d) Dinamika Program Peningkatan Kesadaran, (e) Dinamika Teknologi DAC	96
Gambar 4.8 Simulasi Numerik di Titik Keseimbangan ε_2	97
Gambar 4.9 Simulasi Numerik di Titik ε_3 : (a) Dinamika Konsentrasi CO_2 Di Atmosfer, (b) Dinamika Kepadatan Biomassa Fotosintetik, (c) Dinamika Kebijakan Konservasi, (d) Dinamika Program Peningkatan Kesadaran, (e) Dinamika Teknologi DAC	112
Gambar 4.10 Simulasi Numerik Di Titik Keseimbangan ε_3	112

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4. 1 Rumus Indeks Sensitivitas Setiap Parameter	66
Tabel 4. 2 Nilai Parameter untuk Analisis Sensitivitas	68
Tabel 4. 3 Nilai Indeks Sensitivitas Setiap Parameter terhadap C_*	68
Tabel 4. 4 Nilai Awal Variabel Keadaan.....	71
Tabel 4. 5 Nilai Parameter Untuk Simulasi Numerik di Titik ε_1	72
Tabel 4. 6 Hasil Simulasi Persamaan (4.56) di titik ε_1	81
Tabel 4. 7 Nilai Parameter Untuk Simulasi Numerik di Titik ε_2	84
Tabel 4. 8 Hasil Simulasi Persamaan (4.57) di titik ε_2	95
Tabel 4. 9 Nilai Parameter Untuk Simulasi Numerik di Titik ε_3	98
Tabel 4. 10 Hasil Simulasi Persamaan (4.58) di titik ε_3	111