



PEMODELAN MATEMATIKA

PADA MULTIDISIPLIN KEILMUAN

(Kumpulan Power Point Perkuliahan)

Editor: Yusuf Fuad

Aminah Ekawati | Anis Farida Jamil | Ari Srientini | Blandina Seko Bani
Luthfiana Tarida | Mayang Dintarini | Mohammad Auza'i Aqib
Nasruddin | Ovan | Sri Irawati | Syamsulrizal

**PEMODELAN MATEMATIKA
PADA MULTIDISIPLIN
KEILMUAN**

PEMODELAN MATEMATIKA PADA MULTIDISIPLIN KEILMUAN

**Aminah Ekawati
Anis Farida Jamil
Ari Sriantini
Blandina Seko Bani
Luthfiana Tarida
Mayang Dintarini
Mohammad Auza'i Aqib
Nasruddin
Ovan
Sri Irawati
Syamsulrizal**



PEMODELAN MATEMATIKA PADA MULTIDISIPLIN KEILMUAN

© Penerbit Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia (PRCI)

Penulis:

**Aminah Ekawati
Anis Farida Jamil
Ari Srientini
Blandina Seko Bani**

**Luthfiana Tarida
Mayang Dintarini
Mohammad Auza'i Aqib**

**Nasruddin
Ovan
Sri Irawati
Syamsulrizal**

Editor: Yusuf Fuad

Cetakan Pertama: Juli 2022

Cover: Rusli

Tata Letak: Tim Kreatif PRCI

Hak Cipta 2022, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

**Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT**

Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151
Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website: www.rcipress.rcipublisher.org
E-mail: rumahcemerlangindonesia@gmail.com

Copyright © 2022 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
All Right Reserved

- Cet. I –: Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2022
Dimensi : 14,8 x 21 cm
ISBN: 978-623-448-165-5

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang
Hak Cipta Pasal 72

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

KATA PENGANTAR

Buku pertama ini, dari dua buku, adalah sejenis kompilasi berbentuk bunga rampai (*book chapters*) yang harus diselesaikan oleh mahasiswa S3 Pendidikan Matematika pada matakuliah Pemodelan Matematika di Pascasarjana Universitas Negeri Surabaya (PPs Unesa). Buku pertama ini berisi *file-file power point* dari *project-based learning*, yang telah dipresentasikan secara daring (*online*) oleh setiap mahasiswa. Proyek-proyek tersebut harus dipilih dan ditentukan oleh masing-masing mahasiswa berdasarkan tema-tema yang disediakan oleh dosen pengampu setelah adanya kesepakatan atau konsensus dari rencana pembelajaran semester (RPS) pada pertemuan awal perkuliahan secara daring (*online*). Tema-tema untuk *project-based learning* yang harus dipilih meliputi: permasalahan logistik atau permasalahan mangsa-pemangsa, permasalahan pemanenan (*harvesting problem*), permasalahan penyakit *tuberculosis* (TBC), permasalahan penyakit tumor atau kanker, dan permasalahan penyakit/wabah menular. Secara individu mahasiswa harus secepatnya melaporkan tema pilihannya melalui alamat email yang sudah ditentukan. Kemudian setiap mahasiswa, dengan tetap mengikuti perkuliahan *online* dengan materi dan jadwal yang sudah direncanakan, berkewajiban untuk menyelesaikan tiga tagihan yang terdiri dari: (1) tagihan *essay-assignment* berupa penyelesaian tertulis dari suatu permasalahan terpilih (*case-study problem*), (2) tagihan UTS berupa *file power point* untuk *online oral-presentation* dengan jadwal yang sudah diagendakan, dan (3) tagihan UAS berupa karya tulis ilmiah. Penyelesaian *essay-assignment* harus dikirim melalui alamat

email yang sudah ditentukan, sedangkan tagihan UTS dan tagihan UAS harus dijilid dalam bentuk buku secara formal. Buku pertama ini, merupakan **kompilasi file tagihan UTS**, akan dimanfaatkan sebagai bahan ajar perkuliahan maupun sumber pustaka secara terbatas untuk program studi pendidikan matematika jenjang S1, S2, dan S3 selingkung Unesa. Setiap tagihan UTS yang telah dipresentasikan sudah diberi motivasi untuk diperbaiki berdasarkan kritik, masukan, dan saran dari hasil presentasi oral.

Di Unesa, matakuliah Pemodelan Matematika termasuk relatif baru untuk jenjang S3 Pendidikan Matematika Unesa, meskipun untuk jenjang S1 Matematika/Pendidikan Matematika matakuliah tersebut sudah diberikan sejak tahun akademik 2005. Matakuliah ini lebih memotivasi mahasiswa untuk menjadi calon pendidik/peneliti/ praktisi matematika dengan kognitif, psikomotor dan afektif yang berkelanjutan selalu dapat meningkatkan kualitas kemampuan *problem-solving* yang dapat bermanfaat untuk menghadapi tantangan dunia kerja pada abad ke-21. Dengan demikian, matakuliah ini langsung atau tidak langsung sangat erat berkaitan dengan arah pembelajaran yang berbasis *Science, Technology, Engineering and Mathematics* (STEM) maupun *Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics* (STEAM).

Untuk memenuhi syarat minimal pada perkuliahan Pemodelan Matematika, berdasarkan RPS yang sudah disepakati, setiap mahasiswa wajib menentukan tema pilihan, memastikan minimal dua artikel utama dan tiga artikel pendukung dari Jurnal Internasional bereputasi. Berdasarkan artikel-artikel yang dipilih tersebut, mahasiswa harus fokus mempelajari, mencermati, dan melakukan analisis khususnya terkait diagram kompartemen dan model matematika yang

dibahas pada masing-masing artikel, serta melakukan sintesis untuk melakukan *suatu eksperimen kecil* berdasarkan perubahan nilai suatu parameter yang cenderung sensitif berpengaruh pada model matematika yang lebih disarankan berbentuk sistem persamaan diferensial. Mahasiswa diarahkan untuk mampu melakukan rekonstruksi model matematika dan menampilkan resimulasi secara numerik berdasarkan hasil analisis-sintesis yang telah dilakukannya. Hal ini dimaksudkan agar mahasiswa S3 Pendidikan Matematika lebih memiliki kemampuan analisis-sintesis untuk menyelesaikan disertasi maupun target publikasi artikel pada Jurnal Internasional yang bereputasi.

Harus diakui bahwa substansi maupun esensi dari kompilasi file tagihan UTS dalam buku pertama ini masih belum optimal, khususnya kualitas hasil analisis-sintesis maupun elaborasi hasil simulasi numerik dari setiap mahasiswa. Kondisi ini disebabkan para mahasiswa memang sangat heterogen dalam aspek *reading* maupun *writing*, yang sesuai dengan rekam jejak akademik maupun perguruan tinggi asal (*homebase*) dari masing-masing mahasiswa. Dari aspek matematika, setiap mahasiswa diajak berkelana dan membuka wawasan pengetahuan, yang minimal dituntut memahami penerapan pembelajaran berbasis STEM, serta sangat beragam dan luasnya penerapan matematika dalam memberikan penyelesaian permasalahan riil dari dunia nyata. Selain itu, mahasiswa diharapkan makin menguasai beberapa aplikasi dari konsep-konsep persamaan aljabar, graf dalam diagram kompartemen, persamaan diferensial dan kalkulus, penerapan teori sistem dan kontrol optimal, *computer sciences*, maupun solusi numerik yang dapat menjadi jembatan alternatif ketika solusi-solusi eksak (*analytic solutions*) tidak mudah untuk didapat.

Meskipun *proses revisi, review* maupun *editing* dari setiap file tagihan UTS dalam buku pertama ini masih belum memenuhi kualitas kecermatan dan kesempurnaan, namun tidak lupa apresiasi dan penghargaan yang tinggi harus diberikan kepada setiap mahasiswa yang aktif berkontribusi sampai terwujudnya buku pertama ini. Semoga buku pertama ini mampu membuka wawasan baru terkait *some open-ended problems, problem solving strategies, mathematical modeling, STEM-based learning, as well as some applications on mathematics*, bagi setiap mahasiswa yang telah berkontribusi dalam buku pertama ini dan akhirnya dapat mengakselerasi penyelesaian studi S3-nya. Semoga buku pertama ini bermanfaat bagi setiap mahasiswa yang aktif berkontribusi serta para pembaca semuanya.

Salam matematika,

Surabaya, Juli 2022
Yusuf Fuad

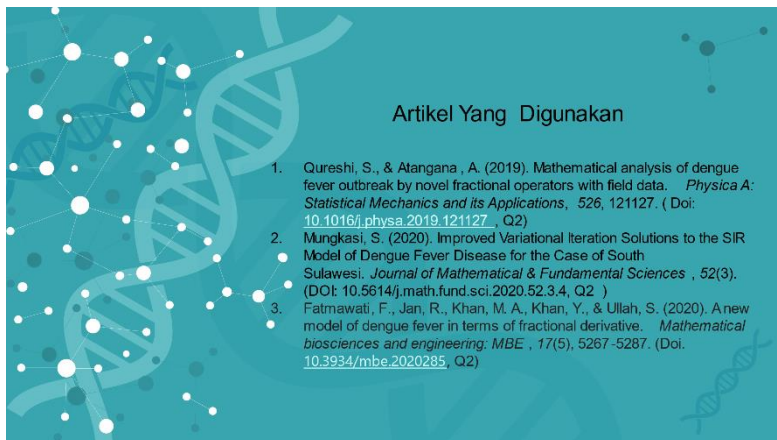
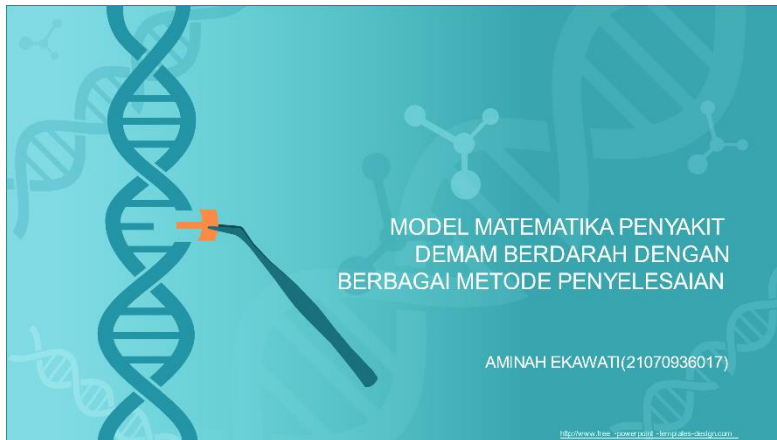
DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	v
Model Penyakit Demam Berdarah Dengan Berbagai Metode Penyelesaian	1
Dinamika Model Penyebaran Tuberkulosis Yang Resisten Terhadap Obat	12
Analisis Kontrol Optimal Dari Model Matematika Pada Merokok.....	22
Pemodelan Matematika Pada Penyakit Thypoid.....	29
Analisis Stabilitas Pada Model Penekanan Populasi Nyamuk.....	36
Potensi Kemoimunoterapi Pada Penyumbahan Kanker Prostat: Suatu Pemodelan Matematika	43
Lanchester Model Untuk Permasalahan <i>Multibattle</i>	51
Analisis Kestabilan Model Tipe $Se(Is)(Ih)Ar$ Dengan Kombinasi Vaksinasi Dan Kontrol.....	61
Pemodelan Matematika Penyakit Menular Covid-19: Studi Kasus Di Wuhan.....	72
Model Penyebaran Dan Pengendalian Hiv/Aids.....	81
Pemodelan Penderita Diabetes Dimasa Covid-19.....	93
TENTANG PENULIS.....	103

MODEL PENYAKIT DEMAM BERDARAH DENGAN BERBAGAI METODE PENYELESAIAN

Aminah Ekawati
aminahekawati@stkipbjm.com





MOTIVASI DAN PEMILIHAN TOPIK

1. Penyakit demam berdarah merupakan penyakit yang terjadi merata di wilayah Indonesia. Sepanjang tahun 2020, Kementerian Kesehatan mencatat terdapat 108.303 penderita dengan angka kematian mencapai 747 orang. Sedangkan untuk tahun 2021 sampai minggu ke 51 terdapat 51.048 penderita yang berasal dari 456 kota Kabupaten/Kota yang terjangkit di 34 provinsi di Indonesia dengan jumlah kematian sebanyak 472 orang.
2. Pada Artikel pertama disajikan model matematika penyakit demam berdarah yang akan dibandingkan dengan data real yang terjadi di kepulauan Tanjung Verde sekitar tahun 2009.
3. Artikel pertama menggunakan bantuan fraksional order yaitu Caputo, Caputo–Fabrizio (CF), dan operator Atangana–Baleanu–Caputo (ABC) untuk menganalisis perilaku model.
4. Artikel kedua menggunakan metode Iterasi Variasi Rangkuti (RVM) dan modifikasi RVM (IRVM).
5. Artikel Ketiga menyajikan data terkait laju gigitan nyamuk.



RUMUSAN DAN TUJUAN

Rumusan masalah

Bagaimana perilaku model penyakit Demam berdarah SIR-IR yang diselesaikan dengan berbagai metode seperti metode dengan bantuan fraksional orde pecahan Caputo, Caputo–Fabrizio (CF), dan operator Atangana–Baleanu–Caputo (ABC), metode Rangkuti Iterasi Variasi, dan Modifikasi Metode Rangkuti Iterasi Variasi? dan bagaimana cara menurunkan penyebaran penyakit DBD.

Tujuan Penelitian:

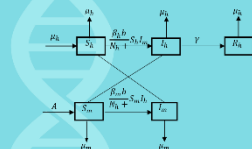
untuk membahas perilaku model penyakit Demam berdarah SIR-IR yang diselesaikan dengan berbagai metode seperti metode dengan bantuan fraksional orde pecahan Caputo, Caputo–Fabrizio (CF), dan operator Atangana–Baleanu–Caputo (ABC), metode Rangkuti Iterasi Variasi, dan Modifikasi Metode Rangkuti Iterasi Variasi. Dan untuk mengetahui cara menurunkan penyebaran penyakit DBD.

ASUMSI PEMBUATAN MODEL PENYAKIT DEMAM BERDARAH SIR

1. Total populasi manusia dan nyamuk dianggap konstan dengan $N_h = S_h(t) + I_h(t) + R_h(t)$ dan $N_m = S_m(t) + I_m(t)$ dan

$$N'_h = S'_h(t) + I'_h(t) + R'_h(t) = 0$$
 dan $N'_m = S'_m(t) + I'_m(t) = A - \mu_m N_m$.
2. Laju kematian dan kelahiran manusia dianggap sama.
3. Kelahiran pada populasi nyamuk dan manusia pada setiap kelas masuk ke dalam kelas rentan.
4. Setiap individu yang terdapat dalam populasi memiliki kemungkinan yang sama untuk tergigit nyamuk.
5. Darah manusia sebagai satu-satunya sumber yang tersedia untuk nyamuk.
6. Nyamuk demam berdarah, *Aedes aegypti* betina, terinfeksi virus ketika menghisap darah manusia yang terinfeksi.
7. Setelah nyamuk terinfeksi virus tidak akan pernah sembuh.

MODEL MATEMATIKADAN PARAMETER



$$\frac{dS_h(t)}{dt} = \mu_h(N_h(t) - S_h(t)) - \frac{\beta_h b}{N_h(t) + m} S_h(t) I_m(t),$$

$$\frac{dI_h(t)}{dt} = \frac{\beta_h b}{N_h(t) + m} S_h(t) I_m(t) - (\mu_h + \gamma) I_h(t),$$

$$\frac{dR_h(t)}{dt} = \gamma I_h(t) - \mu_h R_h(t),$$

$$\frac{dS_m(t)}{dt} = A - \frac{\beta_m b}{N_h(t) + m} S_m(t) I_h(t) - \mu_m S_m(t),$$

$$\frac{dI_m(t)}{dt} = \frac{\beta_m b}{N_h(t) + m} S_m(t) I_h(t) - \mu_m I_m(t).$$

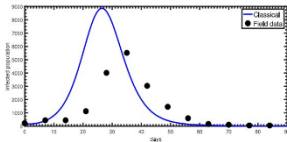
DESKRIPSI, PARAMETER, NILAI

Simbol	Deskripsi	Nilai
$N_h(t)$	Jumlah populasi manusia	2.500.000.000 (konstan)
$S_h(t)$	Kelompok individu yang rentan	-
$I_h(t)$	Kelompok individu yang terinfeksi	-
$R_h(t)$	Kelompok individu yang sudah sembuh	-
$N_m(t)$	Jumlah total nyamuk betina	-
$S_m(t)$	Kelompok nyamuk betina yang rentan	-
$I_m(t)$	Kelompok nyamuk betina yang terinfeksi	-
$\mu_h(t)$	Angka kematian manusia secara rata-rata	$\frac{1}{70 \text{ year}}$ per hari
$\mu_m(t)$	Angka kematian nyamuk	0,1 per hari
γ	Laju kesembuhan manusia	$\frac{1}{7}$ per hari
b	Laju gigitan nyamuk	0,7 per hari
$\beta_h(t)$	probabilitas penularan infeksi dari manusia ke nyamuk	0,30
$\beta_m(t)$	Probabilitas penularan infeksi dari nyamuk ke manusia	0,30
m	sumber darah alternatif yang tersedia untuk nyamuk	-
A	Laju pendirian nyamuk	-

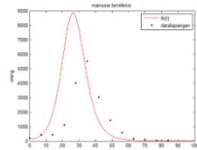
$$S_h(0) = 55784, I_h(0) = 216, R_h(0) = 0, S_m(0) = 168000, I_m(0) = 0$$



Gambar Simulasi Model Terinfeksi Ke Manusia Dan Menggunakan Data Real



Simulasi model matematis dalam mamberidarahmenggunakanmatlab
ODE Solver (ode23s) damenggunakan data sebenarnyayang
diperolehselam 60 hari.



Gambar 1. Resimulasi Menggunakan Matlab

Pengembangan Model Menggunakan Operator Pecahan

Alasan pengembangan model

sifat non-lokalnya yang memberi kita derajat kebebasan tak terbatas untuk memilih nilai yang sesuai untuk parameter orde pecahan sehingga mengarah ke hasil yang lebih akurat daripada rekan klasiknya. Operator yang digunakan

1. Caputo
2. Caputo-Fabrizio
3. Atangana-Baleanu-Caputo



Caputo

$$\begin{aligned} {}^C D_{0+}^{\alpha} S(t) &= \mu_0^m (N_0(t) - S_0(t)) - \frac{\beta_0 b^m}{N_0(t)} S_0(t) I_0(t), \\ {}^C D_{0+}^{\alpha} I(t) &= \frac{\beta_0 b^m}{N_0(t)} S_0(t) I_0(t) - (\mu_0^m + \gamma^m) I_0(t), \\ {}^C D_{0+}^{\alpha} S_m(t) &= \mu_0^m (N_m(t) - S_m(t)) - \frac{\beta_0 b^m}{N_0(t)} S_m(t) I_0(t). \end{aligned}$$

Dimana $\alpha_1 = 1$, $\alpha_m = 0.78$ adalah urutan pecahan untuk populasi manusia dan nyamuk dalam Caputo dan t adalah waktu dalam hari



Caputo-Fabrizio

$$\begin{aligned} {}^{CF} D_{0+}^{\alpha} S(t) &= \mu_0^m (N_0(t) - S_0(t)) - \frac{\beta_0 b^m}{N_0(t)} S_0(t) I_0(t), \\ {}^{CF} D_{0+}^{\alpha} I(t) &= \frac{\beta_0 b^m}{N_0(t)} S_0(t) I_0(t) - (\mu_0^m + \gamma^m) I_0(t), \\ {}^{CF} D_{0+}^{\alpha} S_m(t) &= \mu_0^m (N_m(t) - S_m(t)) - \frac{\beta_0 b^m}{N_0(t)} S_m(t) I_0(t). \end{aligned}$$

Dimana $\delta_1 = 0.98$, $\delta_m = 0.70$ adalah urutan pecahan untuk populasi manusia dan nyamuk dalam Caputo-Fabrizio dan t adalah waktu dalam hari



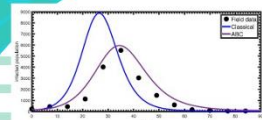
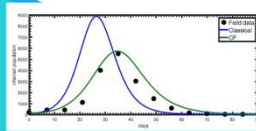
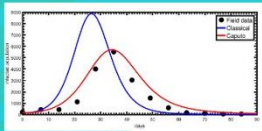
Atangana-Baleanu-Caputo

$$\begin{aligned} {}^{ABC} D_{0+}^{\alpha} S(t) &= \mu_0^m (N_0(t) - S_0(t)) - \frac{\beta_0 b^m}{N_0(t)} S_0(t) I_0(t), \\ {}^{ABC} D_{0+}^{\alpha} I(t) &= \frac{\beta_0 b^m}{N_0(t)} S_0(t) I_0(t) - (\mu_0^m + \gamma^m) I_0(t), \\ {}^{ABC} D_{0+}^{\alpha} S_m(t) &= \mu_0^m (N_m(t) - S_m(t)) - \frac{\beta_0 b^m}{N_0(t)} S_m(t) I_0(t). \end{aligned}$$

Dimana $\alpha_1 = 1$, $\alpha_m = 0.88$ adalah urutan pecahan untuk populasi manusia dan nyamuk dalam Atangana-Baleanu-Caputo dan t adalah waktu dalam hari

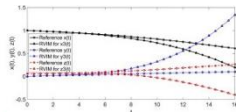


Gambar Perbandingan Simulasi Model, Model dengan Caputo, Caputo-Fabrizio, Atangana-Baleanu-Caputo dan data real

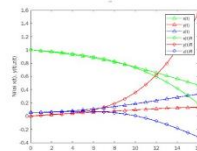


Dari Ketiga gambar di atas dapat disimpulkan bahwa model matematika dengan penyelesaian fraksional order lebih baik untuk menyelesaikan kasus demam berdarah dibandingkan dengan model klasik (model tanpa fraksional)

Artikel ke 2 menggunakan Rangkuti's Variational Iteration Method (RVIM) dan Modification of RVIM

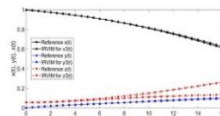


Simulasi Rangkuti's Variational Iteration Method (RVIM) (third iteration)

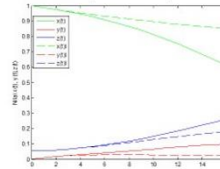


Gambar 4. Resimulasi Rangkuti's Variational Iteration Method (RVIM) (third iteration)

- Dapat disimpulkan:
1. Modifikasi RVIM lebih baik karena mendekati perilaku model
 2. Semakin banyak dilakukan iterasi maka perilaku yang ditunjukkan juga akan mendekati perilaku model.



Simulasi Modifikasi RVIM (third iteration)



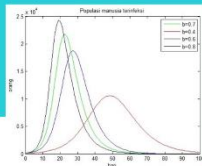
Gambar 5. Resimulasi Modifikasi RVIM (second iteration)

Perbandingan temuan artikel 1 dan 2

1. Artikel 1 dan 2 menggunakan model penyakit demam berdarah yang sama yaitu SIR-IR
2. Metode numerik yang digunakan untuk melihat perilaku model berbeda. Pada artikel 1 menggunakan metode fraksional order sedangkan pada artikel 2 menggunakan metode Rangkuti variasi iterasi (RVIM) dan metode modifikasi Rangkuti iterasi variasi (IRVIM).
3. Jika dilihat dari hasil metode numerik yang digunakan maka menggunakan fraksional order dan IRVIM lebih baik untuk melihat perilaku model. Namun pada IRVIM perilaku model akan sangat bergantung dengan jumlah iterasi yang digunakan.

Eksperimen Kecil (1)

1. Mengganti nilai laju gigitan nyamuk berdasarkan artikel 3 sehingga diperoleh:

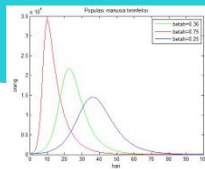


Gambar 6.

Sehingga diperoleh kesimpulan bahwa untuk dapat menurunkan tingkat penyebaran DBD di suatu masyarakat dapat dengan mengontrol laju gigitan nyamuk

Eksperimen Kecil (2)

2. Mengganti nilai probabilitas penularan infeksi dari nyamuk ke manusia (β_h), digunakan artikel 3 sebesar 0,75, kemudian dicoba juga untuk nilai $\beta_h = 0,25$ diperoleh hasil sebagai berikut



Gambar 7.

Kesimpulan: Semakin tinggi probabilitas penularan infeksi dari nyamuk ke manusia maka semakin banyak manusia yang akan terinfeksi penyakit DBD, sehingga perlu dilakukan kontrol untuk mengurangi probabilitas penularan infeksi dari nyamuk ke manusia

Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan resimulasi diperoleh bahwa metode fraksional orde pecahan Caputo, CF, ABC, dan IRVIM lebih baik dalam memperlihatkan perilaku model DBD. Namun untuk IRVIM sangat tergantung dengan jumlah iterasi yang digunakan. Selanjutnya pada eksperimen kecil yang dilakukan salah satu yang dapat menurunkan penyakit DBD adalah dengan mengontrol laju gigitan nyamuk dan mengurangi probabilitas penularan infeksi dari nyamuk ke manusia

Lampiran scriptmatlab Gambar 1.

```
function diffeqs=model_sys(t,var)
Sh=var(1);
Ih=var(2);
Rh=var(3);
Sm=var(4);
Im=var(5);
Nh=2500000;
muh=1/25915; %1/waktu
mum=1/10; %1/waktu
betah=36/100;
betam=36/100;
br=1/10; %1/waktu
qam=0.143; %1/waktu
Nh=Sh+Ih+Rh;
Nm=Sm+Im;
diffeqs(1,1)=muh*(Nh-Sh)-((betah*b)/Nh)*(Sh*Im); %dSh/dt
diffeqs(2,1)=((betah*b)/Nh)*(Sh*Im)-(muh+qam)*Im; %dIm/dt
diffeqs(3,1)= qam*Ih-muh*Rh; %dRh/dt
diffeqs(4,1)= mum*Nm-((betah*b)/Nh)*(Sm*Ih)-mum*Sm; %dSm/dt
diffeqs(5,1)= ((betah*b)/Nh)*(Sm*Ih)-mum*Im; %dIm/dt
end

range=[0:100];
ICa=[55784,216,0,168000,0]; %kondisi awal
[tsol,varsol]=ode23s(@model_sys,range,ICa);
a = [0 7 14 21 28 35 42 49 56 63 70 77 84];
y = [216 434 447 1129 1016 5512 3030 1447 601 164 109 49 46];
plot (tsol,varsol(1,2),'red',a,y,'black');
title('Malaria Inisialisasi');
xlabel('hari');
ylabel('orang');
legend('Th(t)', 'data lapangan');
```

Lampiran scriptmatlab Gambar 2.

```
range=[0:100];
ICa=[55784,216,0,168000,0]; %kondisi awal
[tsol,varsol]=ode23s(@model_sys,range,ICa);
a = [0 7 14 21 28 35 42 49 56 63 70 77 84];
y = [216 434 447 1129 1016 5512 3030 1447 601 164 109 49 46];
plot (tsol,varsol(1,1),'green',tsol,varsol(1,2),'red',tsol,varsol(1,3),'blue');
title('Malaria Inisialisasi dan Simulasi');
xlabel('hari');
ylabel('orang');
legend('Th(t)', 'Th(t)', 'Su(t)');
```

Lampiran scriptmatlab Gambar 3.

```
function diffeqs=@ulawest'(t,var)
x=var(1);
y=var(2);
z=var(3);
a=0.000046; %1/waktu
aipa=0.2975; %1/waktu
bata=0.32083;
qam=0.375;
w=0.033; %1/waktu
diffeqs(1,1)=a*(1-x)-aipa*x*z; %dSh/dt
diffeqs(2,1)=aipa*x*z-beta*y; %dIm/dt
diffeqs(3,1)= qam*(1-x)*y-a*z; %dSm/dt
end

range=[0:100];
ICa=[1000*(7675406/7675593),1000*(487/7675593),1000*0.006]; %kondisi awal
[tsol,varsol]=ode45(@ulawest,range,ICa);
figure
plot(tsol,varsol(1,1),'green',tsol,varsol(1,2),'red',tsol,varsol(1,3),'blue','linewidth',1);
title('grafik simulasi ulawest bernam');
xlabel('hari');
ylabel('x(t),y(t),z(t)');
legend('x(t)', 'y(t)', 'z(t)');
```


Lampiran scriptmatlabGambar 6.

Pangkat $ode1_aya$, $ode5_aya$, dan $ode6_aya$ nilai yang berbeda hanya nilai b .

```
range=[0:100];
ICs=[50/94,216,0,168000,0]; %kondisi awal
[yaol,varaol]=ode23a(ode1_aya,range,ICs); %b=7/10
[yaol,varaol]=ode23a(ode5_aya,range,ICs); %b=6/10
[yaol,varaol]=ode23a(ode6_aya,range,ICs); %b=4/10
figure
plot(yaol,varaol(:,2),'green',xool,taraol(:,2),'red',taraol
,varaol(:,2),'blue','xool',varaol(:,2),'blue',xool,taraol(
(:,2),'blue','lineMid.b',1);
title('Populasi manusia berinfekt');
xlabel('hari');
ylabel('orang');
legend('b=0.7','b=0.6','b=0.6','b=0.6');
```

Lampiran script matlabGambar 7.

Pangkat $ode1_aya$, $ode5_aya$, dan $ode6_aya$ nilai yang berbeda hanya nilai b ubah.

```
range=[0:100];
ICs=[50/94,216,0,168000,0]; %kondisi awal
[yaol,varaol]=ode23a(ode1_aya,range,ICs); % bubah=0.34
[yaol,varaol]=ode23a(ode5_aya,range,ICs); % bubah=0.75
[yaol,varaol]=ode23a(ode6_aya,range,ICs); % bubah=0.25
figure
plot(yaol,varaol(:,2),'green',taraol,varaol(:,2),'red',xool,va
raol(:,2),'blue','lineMid.b',1);
title('Populasi manusia berinfekt');
xlabel('hari');
ylabel('orang');
legend('bubah=0.34','bubah=0.75','bubah=0.25');
```

DINAMIKA MODEL PENYEBARAN TUBERKULOSIS YANG RESISTEN TERHADAP OBAT

ANIS FARIDA JAMIL
anisfaridaj@gmail.com





Dinamika Model Penyebaran Tuberkulosis yang Resisten Terhadap Obat

Anis Farida Jamil 21070936006

Motivasi Pemilihan Artikel

- Tuberculosis adalah penyakit menular penyebab kematian tertinggi kedua di dunia setelah HIV/AIDS (data WHO) & menjadi salah satu ancaman utama dunia.
- Indonesia adalah negara tertinggi ketiga dunia jumlah kasus tuberculosis setelah India dan China (WHO 2018)
- Pemodelan matematika menjadi alat untuk mempelajari epidemi dan memprediksi penyebaran penyakit menular.

Pendahuluan

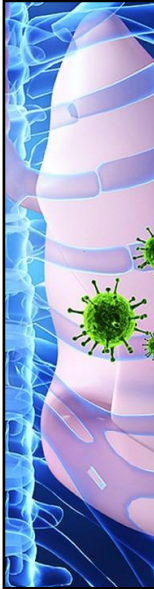
- 1 TB yang resisten terhadap obat mulai muncul dan menjadi tren yang meningkat.
- Penyebab resisten: tidak minum obat sesuai instruksi dokter, kualitas obat.
- TB yang resisten terhadap obat memiliki angka kematian yang lebih tinggi.
- TB yang resisten terhadap obat merupakan masalah Kesehatan masyarakat yang serius dan memprihatinkan terutama pada negara berkembang



- 2 Resistensi obat muncul di daerah dengan program pengendalian tuberculosis yang buruk
- DOTS: strategi pengobatan yang direkomendasikan WHO dapat mencegah perkembangan tuberculosis yang resisten terhadap obat
- Memastikan seluruh kegiatan pengobatan diikuti dengan baik

- 3 Munculnya MDR-TB, pengobatan TB menjadi lebih sulit, lama, dan lebih mahal.
- Pengobatan di negara berkembang tidak sepenuhnya gratis sehingga banyak pasien TB yang tidak mampu membayar biaya pengobatan sepenuhnya dan memilih dirawat di rumah untuk menghemat uang.
- Terkadang pasien yang tak kunjung sembuh juga memilih pulang dari rumah sakit dan dirawat di rumah.

- 4 Pengaruh tuberculosis yang resisten terhadap obat juga diteliti oleh Kuddus et al. (2020) memberikan hasil dari analisis sensitivitas menunjukkan bahwa tingkat penularan tuberculosis dengan kontrol obat pada individu susceptible dan tuberculosis resisten terhadap obat memiliki pengaruh terbesar terhadap prevalensi



Problem Statement dan Tujuan



Problem statement

1. Bagaimana peluasan model matematika SEIS untuk memperhitungkan tuberkulosis yang resisten terhadap obat?
2. Bagaimana dampak parameter terhadap penyebaran tuberkulosis?

Tujuan

1. Memberikan prediksi terhadap perkembangan situasi epidemi penyebaran tuberkulosis khususnya yang resisten terhadap obat
2. Menganalisis dampak parameter yang digunakan pada model terhadap penyebaran tuberkulosis

ARTIKEL UTAMA 1



Model Matematika

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= bN - mN^2 - \beta SI_s - \beta SI_y + \gamma I_s + \gamma I_y - dS \\ \frac{dE_s}{dt} &= \beta SI_s - \beta E_s I_y - (\omega + d)E_s \\ \frac{dE_y}{dt} &= \beta SI_y + \beta E_s I_y - (\omega + d)E_y \\ \frac{dI_s}{dt} &= \omega E_s - (\gamma + \alpha + d + t_y)I_s \\ \frac{dI_y}{dt} &= \omega E_y + t_y I_s - (\gamma + \alpha + d)I_y\end{aligned}$$

Note:

$$\begin{aligned}m &= \frac{(b - \alpha)}{k} \\ \beta &= \frac{6(1 - f)}{S} \\ \gamma &= cf\end{aligned}$$

Table 1
Model parameters and values.

Parameter	Description	Value
α	Death rate induced by disease	0.05
b	Natural birth rate	0.012
d	Natural mortality	0.007
f	Transformation rate from the TB to MDR-TB	0.05
f	TB detection rate	0.87
ω	Removal rate of the exposed to the infected	0.18
c	Successfully cure rate	0.94
k	Environmental capacity	3.6×10^6 (Zhou & He, 1999)

Table 2
Initial parameters values for numerical simulation.

Parameter	Description	Value
N	Size of human population	1.34×10^7
S	The susceptible	1.334×10^6
E	The total exposed ($E_s + E_y$)	5×10^5
I	The total infected ($I_s + I_y$)	1.06×10^6
E_s	The exposed of general TB	4.74×10^6
E_y	The exposed of MDR-TB	3×10^5
I_s	The infected of general TB	1×10^6
I_y	The infected of MDR-TB	6×10^4

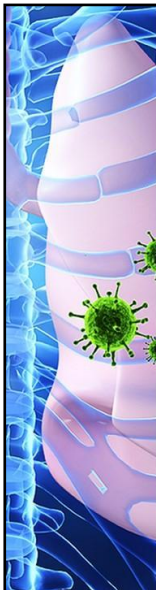
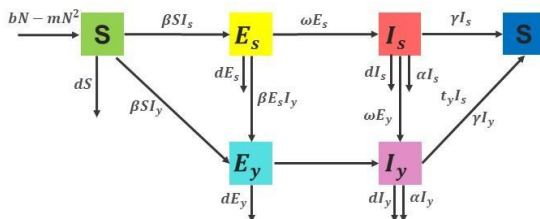
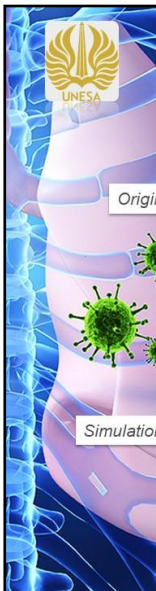


DIAGRAM KOMPARTEMEN

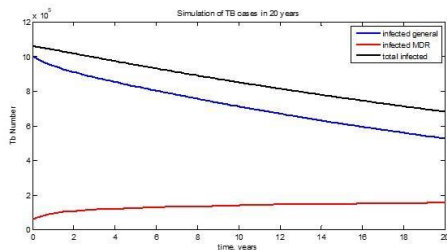
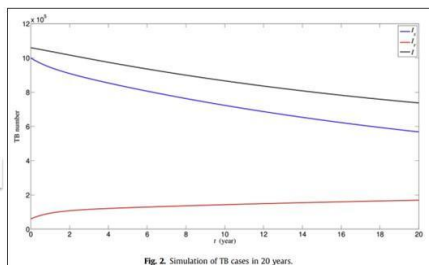


Model yang digunakan oleh peneliti mengadopsi bilinear insiden dan mengikuti sistem persamaan diferensial biasa

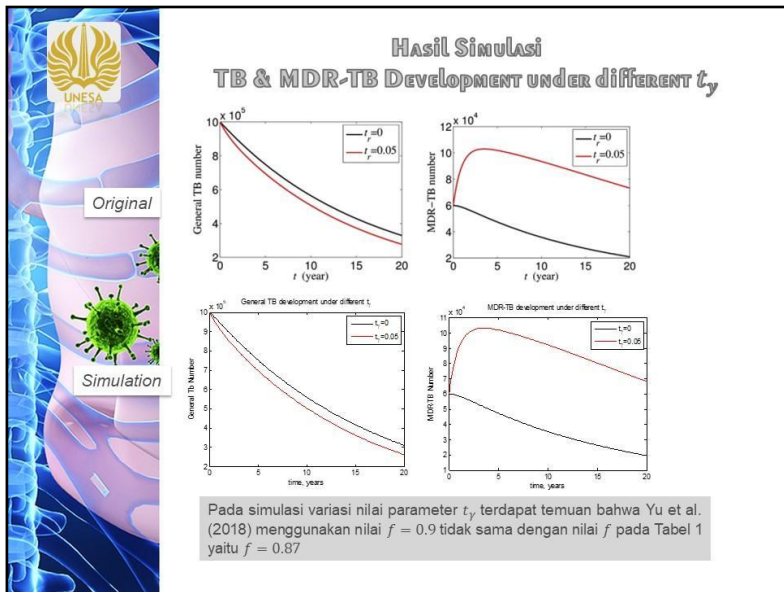
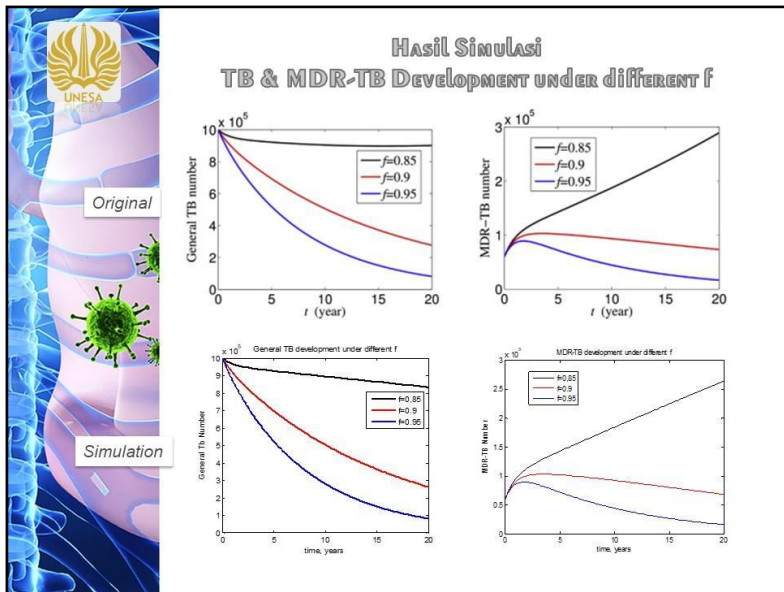


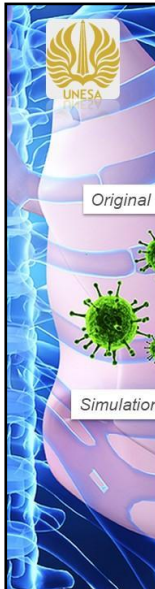
Original

Simulation

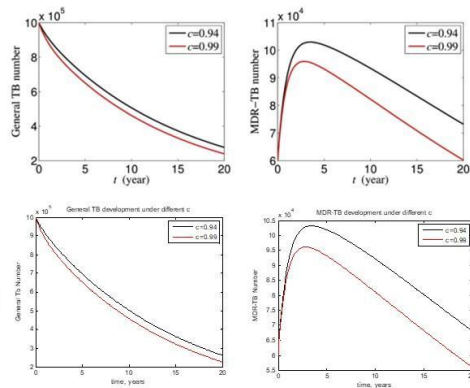


Hasil Resimulasi TB Cases of Regular Infected & MDR-TB Infected





Hasil Simulasi TB & MDR-TB Development under different c



Pada simulasi variasi nilai parameter c terdapat temuan bahwa Yu et al. (2018) menggunakan nilai $f = 0.9$ tidak sama dengan nilai f pada Tabel 1 yaitu $f = 0.87$.

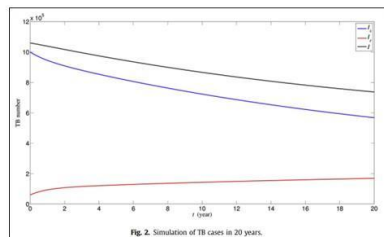
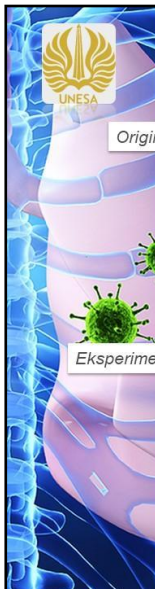
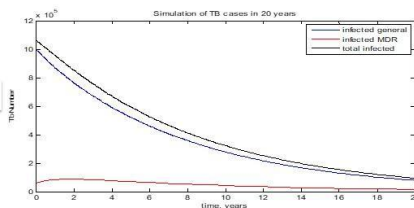


Fig. 2. Simulation of TB cases in 20 years.



Berdasarkan hasil eksperimen kecil, terlihat untuk gambar original adalah dengan nilai tingkat deteksi $f = 0.87$, pada eksperimen ditingkatkan angka deteksi TB menjadi $f = 0.95$ dan terlihat kasus TB menjadi menurun khususnya MDR-TB.

Hasil Eksperimen Kecil TB CASES OF REGULAR AND MDR-TB for different f

Diskusi dan Temuan



Hasil simulasi sama persis dengan Yu et al., (2018) yang menunjukkan bahwa walaupun kasus tuberkulosis secara umum mengalami penurunan namun tren tuberkulosis yang resisten terhadap obat mengalami peningkatan. Hal tersebut didukung pada penelitian Huo & Zou (2016), Kuddus et al. (2020) yang menyatakan bahwa terjadi kenaikan kasus tuberkulosis resisten terhadap obat. Berdasarkan hasil simulasi di atas, mudah menemukan bahwa kenaikan f akan menyebabkan penurunan yang signifikan dalam populasi yang terinfeksi dalam 20 tahun. Sampai batas tertentu, peningkatan tingkat kesembuhan jauh lebih sulit daripada tingkat deteksi. Oleh karena itu, meningkatkan tingkat deteksi (f) merupakan tugas utama dalam proses pencegahan dan pengendalian tuberkulosis.

Strategi pengobatan yang direkomendasikan oleh WHO yaitu DOTS dapat mencegah perkembangan tuberkulosis yang resisten terhadap obat dengan memastikan seluruh rangkaian pengobatan diikuti. DOTS juga dapat meningkatkan angka kesembuhan hingga 95% (Liu et al., 2020)

Simpulan dan Saran



Hasil simulasi membuktikan bahwa kunci untuk mencegah dan mengendalikan penyebaran dan perkembangan tuberkulosis dengan lebih baik adalah dengan meningkatkan tingkat deteksi f dan tingkat konversi dari tuberkulosis ke tuberkulosis yang resisten terhadap obat yang menyumbang sebagian besar kasus tuberkulosis yang resisten terhadap obat.

Pengendalian populasi tuberkulosis yang resisten terhadap obat patut mendapatkan perhatian lebih dari pemerintah untuk dapat menekan perkembangan penyakit tuberkulosis

Script MatLab “kasus TB REGULAR DAN MDR-TB”



script.m

```
range=0:0.1:20;
ICs=[1.334*10^(9),4.74*10^6,3*10^5,
10^6,6*10^4];

[tsol,varsol]=ode45(@ode,range,ICs);
l=varsol(:,4)+varsol(:,5);

figure
plot(tsol,varsol(:,4),'blue',tsol,varsol(:,5),'r','k','linewidth',2)
title('Simulation of TB cases in 20 years')
xlabel('time, years')
ylabel('Tb Number')
legend('infected general','infected MDR','total infected')
```

ode.m

```
function diffeqs=ode(~,var)
S=var(1);
Es=var(2);
Ey=var(3);
Is=var(4);
ly=var(5);

alpha=0.05;
b=0.012;
d=0.007;
ty=0.05;
f=0.87;
omega=0.18;
c=0.94;
k=3.6*10^9;
m=(b-alpha)/k;
beta=6*(1-f)/S;
gama=c*f;
N=1.34*10^9;

diffeqs(1,1)=b*N-m*N*N-beta*S*Is-beta*S*ly+gama*Is+gama*ly-d*S;
diffeqs(2,1)=beta*S*Is-beta*Es*ly-(omega+d)*Es;
diffeqs(3,1)=beta*S*ly-beta*Es*ly-(omega+d)*Ey;
diffeqs(4,1)=omega*Es-(gama+alpha+d+ty)*Is;
diffeqs(5,1)=omega*Ey+ty*Is-(gama+alpha+d)*ly;

end
```

odec1.m

```
function diffeqs=odec1(~,var)
S=var(1);
Es=var(2);
Ey=var(3);
Is=var(4);
ly=var(5);

alpha=0.05;
b=0.012;
d=0.007;
ty=0.05;
f=0.9;
omega=0.18;
c=0.99;
k=3.6*10^9;
m=(b-alpha)/k;
beta=6*(1-f)/S;
gama=c*f;
N=S+Es+Ey+Is+ly;

diffeqs(1,1)=b*N-m*N*N-beta*S*Is-beta*S*ly+gama*Is+gama*ly-d*S;
diffeqs(2,1)=beta*S*Is-beta*Es*ly-(omega+d)*Es;
diffeqs(3,1)=beta*S*ly-beta*Es*ly-(omega+d)*Ey;
diffeqs(4,1)=omega*Es-(gama+alpha+d+ty)*Is;
diffeqs(5,1)=omega*Ey+ty*Is-(gama+alpha+d)*ly;

end
```



Script MatLab “kasus TB & MDR-TB pada VARIASI c”