

Penerapan Model Markov Pada Perkembangan Penyakit HIV/AIDS di Kota Medan

Dara Nurul Hasnah*¹, Riri Syafitri Lubis², Rina Widayarsi³

^{1,2,3}Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Indonesia

e-mail: daranhdn31@gmail.com

Abstrak

HIV/AIDS merupakan salah satu penyakit menular yang menjadi perhatian khusus oleh pemerintah di seluruh dunia, termasuk Indonesia. Di Indonesia, Khususnya Kota Medan, Penyakit HIV/AIDS terjadi peningkatan. Sehingga, target pemerintah dalam mencapai Three Zero HIV/AIDS 2030 semakin jauh. Oleh karena itu, diperlukan suatu persoalan dengan cara memperhatikan setiap transisi dari waktu ke waktu. Untuk melakukan persiapan tersebut dapat menggunakan model Markov. Model Markov merupakan model stokastik yang digunakan pada suatu sistem yang berubah secara acak di setiap keadaan yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perkembangan penyakit HIV/AIDS dalam 8 tahun kedepan menuju tahun 2030. Penelitian ini menggunakan data sekunder perkembangan penyakit HIV/AIDS yaitu data HIV/AIDS, data ODHA On ART dan data meninggal pada tahun 2019 hingga tahun 2022 di Kota Medan. Dari hasil penelitian yang diperoleh, peluang transisi yang diperoleh pada tahun pertama, state HIV/AIDS memperoleh peluang sebesar 0.59 (60%), state HIV/AIDS menuju ODHA On Art sebesar 0.36 (37%), state HIV/AIDS menuju keadaan meninggal sebesar 0,05 (2,5%) dan pada keadaan ODHA ON ART menuju keadaan meninggal cukup tinggi yaitu sebesar 0,06 (12%), ini diakibatkan adanya penderita HIV/AIDS yang tidak patuh dalam menggunakan terapi ARV dan meningkatkan resiko kematian.

Kata Kunci—Model Markov, Rantai Markov, HIV/AIDS.

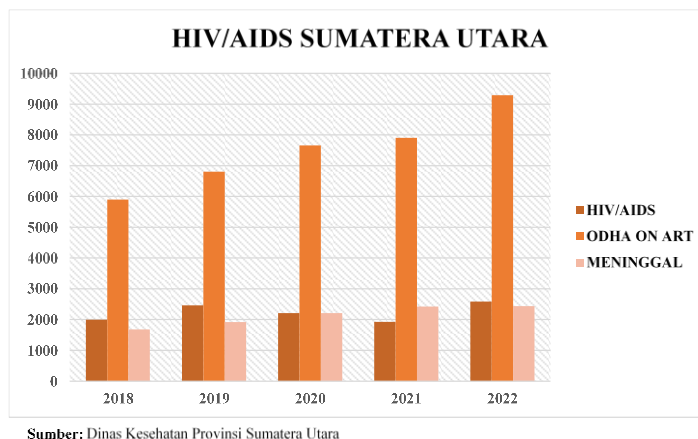
1. PENDAHULUAN

Penyakit menular masih menjadi perhatian utama pemerintah di seluruh dunia, termasuk HIV/AIDS. HIV (Human Immunodeficiency Virus) menginfeksi sel darah putih, menurunkan kekebalan tubuh, sementara AIDS (Acquired Immune Deficiency Syndrome) adalah kondisi yang disebabkan oleh penurunan kekebalan tersebut (Pusdatin, 2020). Penelitian oleh Aldila (2018) menunjukkan bahwa HIV/AIDS adalah salah satu Penyakit Menular Seksual (PMS) yang menyebar melalui hubungan seks bebas, penggunaan jarum suntik tidak steril, dan transfusi darah dari individu yang terinfeksi HIV. AIDS adalah tahap akhir infeksi HIV yang menyebabkan kerusakan parah pada sistem kekebalan tubuh. Perkembangan HIV/AIDS bervariasi di antara individu, dipengaruhi oleh faktor imunologis, genetik, lingkungan, dan virologis (Dessie et al., 2020). AIDS pertama kali ditemukan pada tahun 1981 di Los Angeles, AS, dan dilaporkan telah ada di Afrika Tengah sejak pertengahan tahun 1970-an, meskipun tidak diakui oleh pemerintah setempat (Simanungkalit & Tarutung, 2019).

Pada tahun 1982, istilah AIDS diperkenalkan, dengan 593 kasus dilaporkan dan 243 kematian akibat AIDS. Hingga tahun 1985, penyakit HIV ditemukan pada penderita AIDS (Simanungkalit & Tarutung, 2019). Di Indonesia, kasus pertama HIV/AIDS dilaporkan pada tahun 1987 dari seorang warga Belanda di Bali. Pada akhir 1996, terdeteksi 381 kasus HIV positif dan 154 kasus AIDS di Indonesia (Kebijakan AIDS Indonesia, 2017). Pada tahun 2021, UNAIDS melaporkan 540.000 orang hidup dengan HIV di Indonesia, dengan 27.000 kasus baru, 28% menerima pengobatan ARV, dan 26.000 kematian akibat AIDS (UNAIDS, 2022).

Hingga kini, belum ada obat untuk menyembuhkan HIV/AIDS, namun pengobatan dapat meningkatkan sistem kekebalan tubuh ODHA, menekan viral load, dan meningkatkan jumlah CD4. Pemerintah Indonesia telah melakukan berbagai upaya untuk mengendalikan HIV/AIDS, termasuk peningkatan deteksi dini, kualitas pelayanan kesehatan, dan cakupan pengobatan ARV (Kemenkes, 2017).

Sumatera Utara merupakan salah satu provinsi dengan tingkat epidemi HIV/AIDS tertinggi, dengan 13.150 kasus terkonfirmasi pada Desember 2021 (detik Sumut, 2022). Kota Medan, ibu kota provinsi, memiliki kasus HIV/AIDS tertinggi di wilayah tersebut, meskipun penularan cenderung menurun selama pandemi, penurunan ini diduga akibat kurangnya testing. Setelah pandemi mereda, kasus HIV kembali meningkat (Tribun Medan, 2022).



Gambar 1. Grafik kasus HIV/AIDS dari Tahun 2018-2022.

Pemerintah Kota Medan telah melakukan berbagai upaya pencegahan sesuai dengan Perda No. 1 Tahun 2012 tentang Pencegahan dan Penanggulangan HIV/AIDS, termasuk sosialisasi perubahan perilaku, pencegahan penularan dari ibu ke bayi, dan pemberian pengobatan ART. Upaya ini bertujuan mencapai Three Zero 2030: nol kasus HIV baru, nol kematian akibat AIDS, dan nol diskriminasi terhadap ODHA (Republika, 2022).

Meskipun begitu, banyak masyarakat yang masih belum memahami bahaya HIV/AIDS dan enggan melakukan pemeriksaan karena stigma sosial. Akibatnya, penyebaran kasus HIV/AIDS masih meningkat, jauh dari target pemerintah untuk mencapai nol kasus pada tahun 2030. Untuk itu, diperlukan pendekatan lebih lanjut, seperti penggunaan Model Markov untuk memprediksi perkembangan HIV/AIDS dalam 8 tahun ke depan di Kota Medan, guna membantu pemerintah merancang strategi yang lebih efektif.

2. METODE PENELITIAN

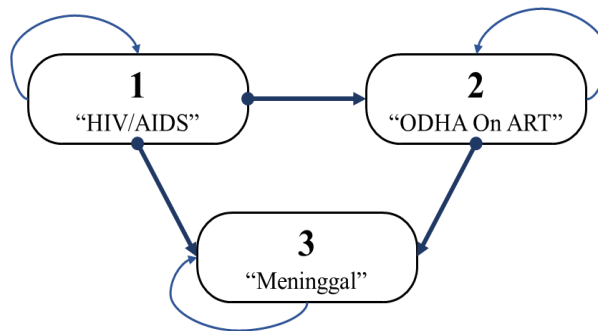
Tempat penelitian dilaksanakan di Dinas Kesehatan Kota Medan yang beralamat Jl. Rotan, Petisah Tengah, Kec. Medan Petisah, Kota Medan, Sumatera Utara. variabel yang akan digunakan, yaitu;

1. *State 1*, data “infeksi HIV” yang ditandai dengan gejala awal demam, nyeri otot, sakit kepala, influenza, sakit tenggorokan, gangguan gastrointestinal dan munculnya bercak merah.
2. *State 2*, data “ODHA On ART” merupakan tahap penderita HIV/AIDS menerima terapi Antiretroviral (ART) sebagai terapi untuk mengurangi penularan HIV/AIDS dan penderita yang baru memulai menggunakan ART.
3. *State 3*, data “meninggal” ialah penderita yang dinyatakan meninggal akibat HIV/AIDS dan meninggal akibat ketidakpatuhan penggunaan ART.

Prosedur penelitian pada suatu penelitian kuantitatif adalah operasionalisasi metode ilmiah dengan memperhatikan unsur-unsur keilmuan. Kegiatan penelitian diawali dengan mengidentifikasi masalah, mereview kepustakaan, menetapkan tujuan penelitian, mengumpulkan data, menganalisis dan menginterpretasi data, dan melaporkan serta mengevaluasi penelitian. Pada prosedur penelitian ini akan dijelaskan langkah-langkah pengolahan data. Langkah-langkah yang akan dilakukan, ialah:

1. Menentukan *State* sistem dan Diagram *State* pada variabel perkembangan penyakit HIV/AIDS

Pada tahap ini akan ditentukan *State* sistem dan memberi tanda pada setiap *State* sistem untuk menggambarkan diagram *State* pada variabel perkembangan penyakit HIV/AIDS, yaitu $x_n = [1,2,3]$. Selanjutnya, *State* sistem tersebut dibuat menjadi suatu Diagram *State* sebagai transisi dari satu keadaan ke keadaan lainnya. Berikut diagram *State* perkembangan penyakit HIV/AIDS.



Gambar 2. Diagram State Penyakit HIV/AIDS yang digunakan untuk mendeskripsikan Perkembangan Penyakit HIV/AIDS

2. Menentukan Matriks Probabilitas Transisi

Pada tahap ini akan ditentukan probabilitas transisi. Probabilitas transisi merupakan perubahan dari satu *State* ke *State* yang lain pada periode waktu (t) dan merupakan proses random yang dibentuk dalam suatu probabilitas. Sehingga diasumsikan markov memiliki probabilitas transisi yaitu: $P_{ij} = P(X_{n+1} = j | X_n = i)$

Maka perubahan tersebut akan dibentuk ke dalam suatu tabel matriks kemungkinan transisi, yaitu;

Tabel 1. Matriks Kemungkinan Transisi Perkembangan Penyakit HIV/AIDS

State	1	2	3
1	p_{11}	p_{12}	p_{13}
2	0	p_{22}	p_{23}
3	0	0	1

Maka, Matriks Probabilitas transisi untuk perubahan *State* i ke j untuk $x_n = 1,2,3$, adalah: $P = [p_{11} \ p_{12} \ p_{13} \ 0 \ p_{22} \ p_{23} \ 0 \ 0 \ 1]$

3. Menghitung Probabilitas n-langkah

Setelah menentukan probabilitas matriks transisi, selanjutnya akan ditentukan Probabilitas n-langkah sebagai langkah untuk menentukan peluang kejadian di masa depan. Dalam menentukan probabilitas n-langkah, akan digunakan persamaan Chapman-Kolmogorov dalam matriks; $P^n = P^{n-1} \cdot P$

4. Menentukan Klasifikasi *State*

Klasifikasi *State* digunakan untuk mengetahui karakteristik dari bentuk rantai Markov. Penentuan karakteristik ini penting, karena digunakan untuk menentukan probabilitas *Steady-state*. Pada klasifikasi *State*, akan ditentukan apakah *State* tersebut terjadi *accessible* atau *communication*, *irreducible*, *absorbing* dan dapat ditentukan berdasarkan *period*.

5. Menghitung Probabilitas *Steady-state*

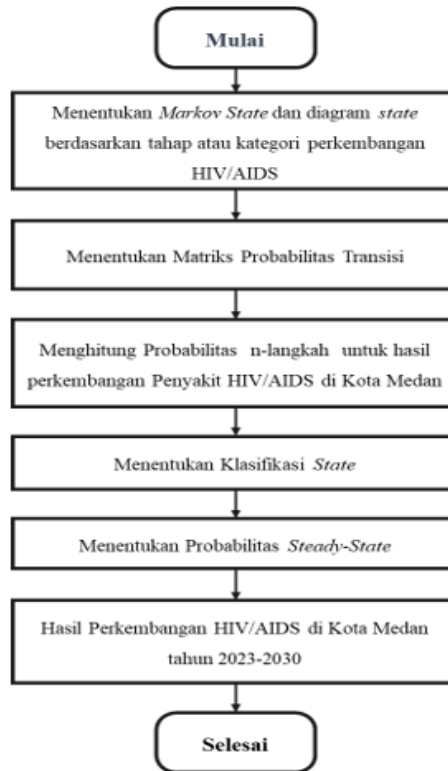
Probabilitas *Steady-state* adalah suatu Probabilitas transisi yang telah mencapai kondisi seimbang atau kondisi tetap. Pada tahap probabilitas *Steady-state*, Secara umum *State-State* tersebut termasuk pada klasifikasi *irreducible*, *Positive recurrent*, *aperiodic markov chain*. Jika telah memenuhi klasifikasi *State*, maka dapat ditentukan dengan menggunakan definisi yang diberikan oleh probabilitas *Steady-state*, yaitu

$$(\pi_0 \ \pi_1 \ \dots \ \pi_n) = (p_{00} \ p_{10} \ \dots \ p_{n0} \ p_{01} \ p_{11} \ \dots \ p_{n1} \ \vdots \ p_{0n} \ \vdots \ p_{1n} \ \vdots \ \dots \ p_{nn}) = (\pi_0 \ \pi_1 \ \vdots \ \pi_n)$$

Setelah mencapai hasil dari nilai tertentu dan memenuhi $j \geq 0$, $\lim_{n \rightarrow \infty} p_{ij}^n$ ada dan tidak tergantung pada i , maka probabilitas tersebut telah mencapai kondisi tetap atau kondisi seimbang.

6. Hasil prediksi Perkembangan Penyakit HIV/AIDS di Kota Medan dari tahun 2022-2030

Tahap ini akan diperoleh hasil dari proses probabilitas n-langkah dan proses akhir *Steady-state*. Pada proses probabilitas n-langkah akan diperoleh hasil prediksi dari tahun 2022-2030 dan pada proses akhir probabilitas *Steady-state* akan diperoleh hasil prediksi dalam keadaan seimbang atau dalam keadaan tetap.



Gambar 3. Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

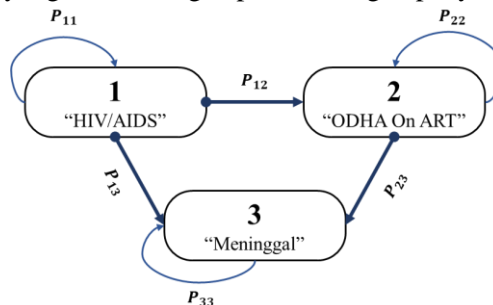
3.1.1 Mendefinisikan State Markov dan Diagram State

State markov yang akan dimodelkan pada penelitian ini adalah;

Tabel 2. State Markov Penyakit HIV/AIDS

State	Status	Keterangan
1	HIV/AIDS	Pasien yang melaku tes didiagnosis HIV/AIDS
2	ODHA On ART	Penderita HIV/AIDS menerima rujukan terapi Antiretroviral (ART) dan telah memulai ART
3	Meninggal	Penderita yang dinyatakan meninggal akibat HIV/AIDS dan ketidakpatuhan penggunaan ART

Selanjutnya state tersebut dibentuk menjadi suatu diagram state sebagai transisi dari satu keadaan ke keadaan lainnya. Maka diagram state yang sesuai dengan perkembangan penyakit HIV/AIDS, sebagai berikut;

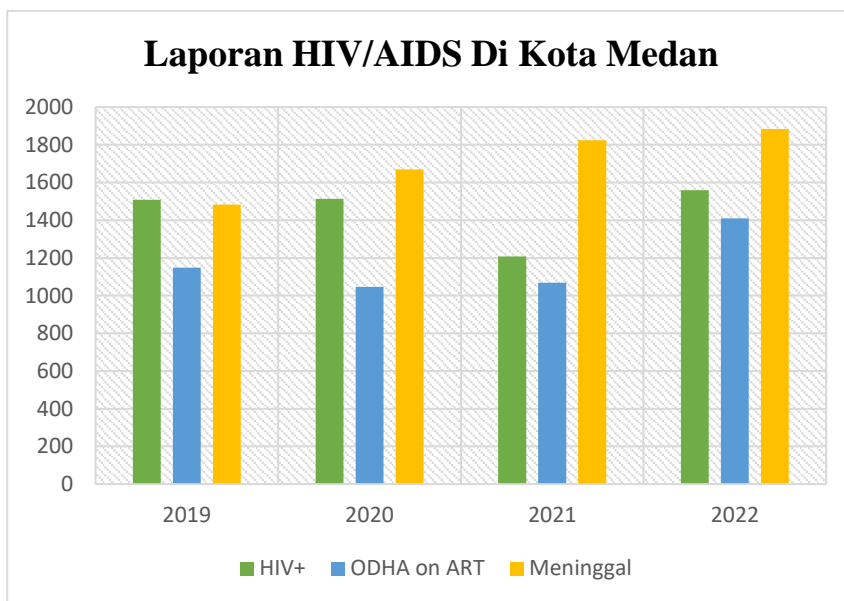


Gambar 4. Diagram State Penyakit HIV/AIDS

Berdasarkan Gambar 4.2, perpindahan state yang mungkin terjadi pada perkembangan penyakit HIV/AIDS memiliki 6 transisi yaitu perpindahan dari state 1 ke state 1, state 1 ke state 2, state 1 ke state 3, state 2 ke state 2, state 2 ke state 3, state 3 ke state 3.

3.1.2 Menentukan Matriks Probabilitas Transisi

Data yang digunakan pada penelitian adalah Data Sekunder. Data ini diperoleh dari Dinas Kesehatan Provinsi Sumatera Utara yang beralamat Jl. Prof. H. M. Yamin No. 31AA, Perintis, Kec. Medan Tim., Kota Medan, Sumatera Utara. Data yang akan digunakan pada penelitian ini adalah data laporan kasus penyakit HIV/AIDS di Kota Medan dalam periode 4 tahun, yang dimulai dari tahun 2019 hingga tahun 2022. Selain itu data yang diambil ialah data Kasus HIV, ODHA On ART (Orang Dengan HIV/AIDS dalam Antiretroviral) dan kasus meninggal Akibat HIV/AIDS. Berikut grafik kasus HIV, ODHA On ART dan Kasus Meninggal di Kota Medan:



Gambar 5. Grafik Kasus HIV/AIDS di Kota Medan

di Kota Medan, dari tahun 2019 hingga tahun 2022 terdapat 170,086 orang yang telah melakukan tes HIV/AIDS berdasarkan pasien yang secara sukarela melakukan tes HIV/AIDS dan inisiasi petugas kesehatan, dari seluruh pasien yang melakukan tes terdapat 5790 penderita yang diDiagnosa HIV/AIDS. Sehingga, total kemungkinan transisi yang terjadi di Kota Medan pada tahun 2019 hingga 2022 berdasarkan 3 state, ialah;

Tabel 3. Jumlah total transisi pasien yang diamati berdasarkan 3 state (keadaan), dari tahun 2019 hingga 2022

State (i)	To (j)	State 1	State 2	State 3	Total
		HIV/AIDS	ODHA On ART	Meninggal	
Ringkasan kemungkinan transisi tahun 2019-2022					
State 1		5790	3556	486	9832
HIV/AIDS		0	1117	75	1192
State 2		0	0	1332	1332
ART		5790	4673	483	12346
State 3					
Meninggal					
Total					

Pada tabel 4 terlihat jika jumlah keseluruhan laporan kasus penyakit HIV/AIDS di Kota Medan pada periode tahun 2019 hingga 2022 terdapat 5790 pasien yang di Diagnosis HIV/AIDS, terdapat 3556 pasien yang

dirujuk terapi Antiretroviral, terdapat 1117 pasien yang baru memulai terapi Antiretroviral, terdapat 486 pasien yang meninggal akibat HIV/AIDS, terdapat 75 pasien ART yang meninggal akibat adanya ketidakpatuhan pada penggunaan terapi Antiretroviral dan terdapat 1332 pasien yang meninggal akibat penyakit terkait. Maka, berdasarkan tabel 4 diperoleh suatu Matriks Kemungkinan transisi merupakan proses random yang akan dibentuk dalam suatu probabilitas, sebagai berikut:

Tabel 4. Matriks Kemungkinan Transisi Perkembangan Penyakit HIV/AIDS di Kota Medan

State (i)	To (j)	State 1	State 2	State 3
		HIV/AIDS	ODHA On ART	Meninggal
State 1		0,59	0,36	0,05
HIV/AIDS				
State 2		0	0,94	0,06
ART				
State 3		0	0	1
Meninggal				

Perhitungan probabilitas diatas dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2;

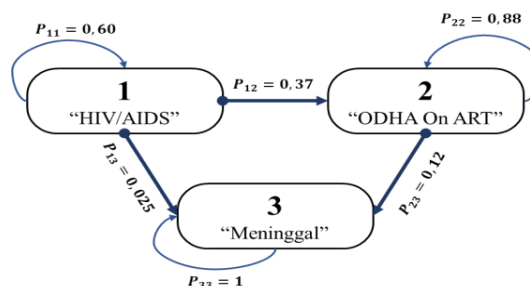
$$P_{ij} = P(X_{n+1} = j | X_n = i) = \frac{\sum_j x_{ij}}{N_i}$$

- (1) State 1 (HIV/AIDS) → State 1 (HIV/AIDS): $P_{11} = \frac{5790}{9832} = 0,59$
- (2) State 1 (HIV/AIDS) → State 2 (ODHA ON ART) = $P_{12} = \frac{3556}{9832} = 0,36$
- (3) State 1 (HIV/AIDS) → State 3 (Meninggal) = $P_{13} = \frac{486}{9832} = 0,05$
- (4) State 2 (ODHA ON ART) → State 2 (ODHA ON ART) = $P_{22} = \frac{1117}{1192} = 0,94$
- (5) State 2 (ODHA ON ART) → State 3 (Meninggal) = $P_{23} = \frac{75}{1192} = 0,06$

Dari hasil tersebut, menunjukkan bahwa probabilitas perkembangan penyakit HIV/AIDS di kota medan adalah pada state 1 (HIV) bernilai 0.59 state 1 menuju state 2 bernilai 0.36, state 1 menuju state 3 bernilai 0.05, state 2 (ODHA On ART) bernilai 0.94, state 2 menuju state 3 bernilai 0.06 dan state 3 merupakan state *absorbing*, karena pada state tersebut tidak ada kemungkinan transisi pada state meninggal sehingga nilai yang diperoleh ialah 1. Berdasarkan nilai yang telah diperoleh, Maka matriks probabilitas transisi dari perkembangan penyakit HIV/AIDS di Kota Medan ialah:

$$P = [p_{11} \ p_{12} \ p_{13} \ 0 \ p_{22} \ p_{23} \ 0 \ 0 \ 1] = [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1]$$

Diagram Transisi untuk State Probabilitas Transisi berdasarkan matriks probabilitas transisi yang telah diperoleh, sebagai berikut:



Gambar 6. Diagram State Transisi Penyakit HIV/AIDS di Kota Medan

3.2.3 Menghitung Probabilitas n-langkah

Probabilitas n-langkah adalah suatu peluang bersyarat pada suatu sistem yang berada pada state *i* dan akan berada pada state *j* setelah melewati proses matriks probabilitas transisi. Tahap probabilitas n-langkah ini digunakan untuk menentukan hasil perkembangan penyakit HIV/AIDS atau kejadian yang akan terjadi di

masa depan. Dalam penelitian ini, akan ditentukan perkembangan Penyakit HIV/AIDS dalam 8 tahun kedepan untuk mengetahui pencapaian pemerintah pada target *Three Zero* 2030 atau bebas insiden pada tahun 2030. Dengan matriks probabilitas transisi nya,

$$P = [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

Sehingga probabilitas n-langkah dengan $n = 1,2,3,4,5,6,7,8$ Menggunakan persamaan 2.7

$$p^{(n)} = p^{(n-1)} \cdot p^{(1)} = p^{n-1} \cdot p$$

Maka diperoleh,

Probabilitas perkembangan penyakit HIV/AIDS dengan $n = 1$.

$$p^1 = p^{(1-1)} \cdot p^{(1)} = p^0 \cdot p^1 = 1 \cdot [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1 \] = [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

$$p^1 = [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

Probabilitas perkembangan penyakit HIV/AIDS dengan $n = 2$.

$$p^2 = p^{(2-1)} \cdot p^{(1)} = p^1 \cdot p^1 = [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1 \] \cdot [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1 \] =$$

$$[0,34 \ 0,55 \ 0,1 \ 0 \ 0,88 \ 0,12 \ 0 \ 0 \ 1 \] \quad p^2 = [0,34 \ 0,55 \ 0,1 \ 0 \ 0,88 \ 0,12 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

Probabilitas perkembangan penyakit HIV/AIDS dengan $n = 3$.

$$p^3 = p^{(3-1)} \cdot p^{(1)} = p^2 \cdot p^1 = [0,34 \ 0,55 \ 0,1 \ 0 \ 0,88 \ 0,12 \ 0 \ 0 \ 1 \] \cdot [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

$$= [0,21 \ 0,64 \ 0,15 \ 0 \ 0,83 \ 0,2 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

$$p^3 = [0,21 \ 0,64 \ 0,15 \ 0 \ 0,83 \ 0,2 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

Probabilitas perkembangan penyakit HIV/AIDS dengan $n = 4$.

$$p^4 = p^{(4-1)} \cdot p^{(1)} = p^3 \cdot p^1 = [0,21 \ 0,64 \ 0,15 \ 0 \ 0,83 \ 0,2 \ 0 \ 0 \ 1 \] \cdot [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

$$= [0,12 \ 0,67 \ 0,25 \ 0 \ 0,78 \ 0,30 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

$$p^4 = [0,12 \ 0,67 \ 0,25 \ 0 \ 0,78 \ 0,30 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

Probabilitas perkembangan penyakit HIV/AIDS dengan $n = 5$

$$p^5 = p^{(5-1)} \cdot p^{(1)} = p^4 \cdot p^1 = [0,12 \ 0,67 \ 0,25 \ 0 \ 0,78 \ 0,30 \ 0 \ 0 \ 1 \] \cdot [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

$$= [0,07 \ 0,67 \ 0,25 \ 0 \ 0,73 \ 0,30 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

$$p^5 = [0,07 \ 0,67 \ 0,25 \ 0 \ 0,73 \ 0,30 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

Probabilitas perkembangan penyakit HIV/AIDS dengan $n = 6$

$$p^6 = p^{(6-1)} \cdot p^{(1)} = p^5 \cdot p^1 = [0,07 \ 0,67 \ 0,25 \ 0 \ 0,73 \ 0,30 \ 0 \ 0 \ 1 \] \cdot [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1 \] =$$

$$[0,04 \ 0,65 \ 0,30 \ 0 \ 0,68 \ 0,34 \ 0 \ 0 \ 1 \] \quad p^6 = [0,04 \ 0,65 \ 0,30 \ 0 \ 0,68 \ 0,34 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

Probabilitas perkembangan penyakit HIV/AIDS dengan $n = 7$

$$p^7 = p^{(7-1)} \cdot p^{(1)} = p^6 \cdot p^1 = [0,04 \ 0,65 \ 0,30 \ 0 \ 0,68 \ 0,34 \ 0 \ 0 \ 1 \] \cdot [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1 \] =$$

$$0,02 \ 0,62 \ 0,34 \ 0 \ 0,60 \ 0,38 \ 0 \ 0 \ 1$$

$$p^7 = [0,02 \ 0,62 \ 0,34 \ 0 \ 0,60 \ 0,38 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

Probabilitas perkembangan penyakit HIV/AIDS dengan $n = 8$

$$p^8 = p^{(8-1)} \cdot p^{(1)} = p^7 \cdot p^1 = [0,02 \ 0,62 \ 0,34 \ 0 \ 0,60 \ 0,38 \ 0 \ 0 \ 1 \] \cdot [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

$$= [0,01 \ 0,59 \ 0,40 \ 0 \ 0,56 \ 0,43 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

$$p^8 = [0,01 \ 0,59 \ 0,40 \ 0 \ 0,56 \ 0,43 \ 0 \ 0 \ 1 \]$$

Pada periode pertama atau pada $n = 1$, probabilitas pada tahun pertama, pada keadaan HIV memiliki probabilitas 0.59, keadaan HIV menuju Keadaan ODHA On ART memiliki Probabilitas 0.36, keadaan HIV menuju keadaan meninggal memiliki probabilitas 0.05 dimana dalam 8 tahun mengalami peningkatan, keadaan ODHA On ART memiliki probabilitas 0.94, namun pada keadaan ODHA On ART menuju keadaan meninggal memiliki probabilitas yang cukup tinggi yaitu 0.06, pada keadaan meninggal pada ODHA On ART ini dikarenakan adanya penderita yang tidak melanjutkan terapi ARV atau ART, sehingga keadaan tersebut meningkatkan resiko kematian pada penderita HIV/AIDS. Selanjutnya, pada periode ke-8 atau $n = 8$, probabilitas pada periode tersebut, pada keadaan HIV memiliki probabilitas 0.01, keadaan HIV menuju Keadaan ODHA On ART memiliki Probabilitas 0.60, keadaan HIV menuju keadaan meninggal memiliki probabilitas 0.38 dimana dalam 8 tahun mengalami peningkatan, keadaan ODHA On ART memiliki probabilitas 0.59, namun pada keadaan ODHA On ART menuju keadaan meninggal memiliki probabilitas 0.40 dan pada periode ke-8 keadaan meninggal diakibatkan berhenti melakukan terapi Antiretroviral atau ART. Namun, pada periode ke-8 atau pada tahun 2030, target pemerintah menuju *three zero* HIV/AIDS di Kota Medan masih belum tercapai. Sehingga, dengan ini akan ditentukan nilai probabilitas dengan keadaan HIV/AIDS mencapai nol serta nilai peluang konvergen, sebagai berikut;

1) $n = 10$

$$P^{10} = P^9 \cdot P^1 = [0,008 \ 0,57 \ 0,42 \ 0 \ 0,56 \ 0,44 \ 0 \ 0 \ 1] \cdot [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1]$$

$$= [0,005 \ 0,53 \ 0,45 \ 0 \ 0,52 \ 0,47 \ 0 \ 0 \ 1]$$

2) $n = 19$

$$P^{19} = P^{18} \cdot P^1 = [0,0001 \ 0,32 \ 0,68 \ 0 \ 0,31 \ 0,69 \ 0 \ 0 \ 1] \cdot [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1]$$

$$= [0 \ 0,31 \ 0,69 \ 0 \ 0,35 \ 0,71 \ 0 \ 0 \ 1]$$

3) $n = 50$

$$P^{50} = P^{49} \cdot P^1 = [0 \ 0,05 \ 0,99 \ 0 \ 0,05 \ 0,99 \ 0 \ 0 \ 1] \cdot [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1]$$

$$= [0 \ 0,04 \ 0,99 \ 0 \ 0,04 \ 0,99 \ 0 \ 0 \ 1]$$

4) $n = 80$

$$P^{80} = P^{79} \cdot P^1 = [0 \ 0,008 \ 0,99 \ 0 \ 0,008 \ 0,99 \ 0 \ 0 \ 1] \cdot [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1]$$

$$= [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1]$$

Berdasarkan hasil perhitungan probabilitas yang telah dihitung menggunakan persamaan *Chapman-Kolmogorov*, probabilitas yang diperoleh seseorang individu ke setiap keadaan dalam waktu 8 tahun dan telah mencapai keadaan konvergen ialah:

Tabel 5. Probabilitas perpindahan dari keadaan i ke keadaan j pada waktu t

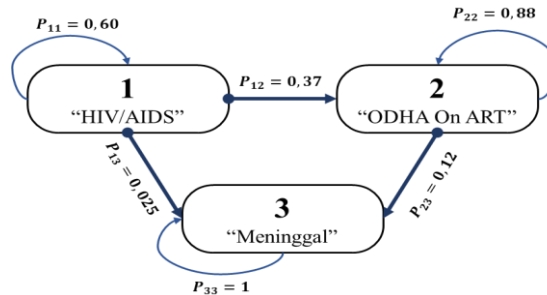
n	STATE				
	1→1	1→2	1→3	2→2	2→3
1	0,59	0,36	0,05	0,94	0,06
2	0,34	0,55	0,10	0,88	0,12
3	0,21	0,64	0,15	0,83	0,20
4	0,12	0,67	0,20	0,78	0,25
5	0,07	0,67	0,25	0,73	0,30
6	0,04	0,65	0,30	0,68	0,34
7	0,02	0,62	0,34	0,60	0,38
8	0,01	0,59	0,40	0,56	0,43
10	0,005	0,53	0,45	0,52	0,47
19	0	0,30	0,70	0,29	0,71
50	0	0,04	0,99	0,04	0,99
80	0	0	1	0	1

Sehingga berdasarkan tabel 6 pada periode 8, HIV/AIDS semakin menurun, namun belum mencapai target pemerintah dalam mencapai *Three Zero* HIV/AIDS. Dan pada periode 8, keadaan ODHA *on* ART menuju keadaan meninggal meningkat diakibatkan adanya ketidakpatuhan terhadap penggunaan terapi ARV atau ART. Target pemerintah dalam mencapai *Three Zero* HIV/AIDS, tercapai pada periode ke-19 ($n = 19$). Pada periode tersebut, penderita HIV/AIDS sudah mencapai nilai nol. Namun, pada tahun tersebut masih terdapat penderita HIV/AIDS yang sedang melaksanakan terapi Antiretroviral serta meningkatnya pasien yang meninggal akibat HIV/AIDS dan akibat ketidakpatuhan pada terapi antiretroviral. Peluang konvergen atau keadaan konstan dicapai pada periode ke-80. Pada periode tersebut, keadaan HIV/AIDS dan ODHA *On* ART berada pada probabilitas 0 atau 0%, sedangkan keadaan meninggal akibat HIV/AIDS dan berhentinya penderita dalam melakukan terapi ART memiliki probabilitas 1 atau 100%.

3.2.4 Menentukan Klasifikasi State

Klasifikasi state digunakan untuk menyelidiki dan mengklasifikasikan beberapa jenis keadaan yang lebih umum yang dapat terjadi dalam suatu markov. Dalam markov, state akan diklasifikasi ke beberapa jenis keadaan yang sering terjadi. Sehingga dalam kasus perkembangan penyakit HIV/AIDS, dengan peluang transisi,

$P = [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1]$ dan diagram transisi yang dimiliki,



Gambar 6. Diagram Transisi Perkembangan Penyakit HIV/AIDS

Sehingga klasifikasi state yang diperoleh berdasarkan diagram transisi pada gambar 4.4, ialah;

1. State *Accessible*, karena $1 \rightarrow 2, 1 \rightarrow 3, 2 \rightarrow 3$.
2. State tidak saling berkomunikasi (*communication*), karena pada diagram transisi pada gambar 4.4, tidak terdapat state yang memenuhi $i \leftrightarrow j \Leftrightarrow i \rightarrow j \wedge j \rightarrow i$.
3. State tidak *irreducible*, karena state tidak saling berkomunikasi satu sama lain.
4. Terdapat state *absorbing*, yaitu pada $P_{33} = 1$ memenuhi probabilitas yang dicirikan dengan $p_{ii} = 1$, karena pada state tersebut tidak ada jalan keluar dari *State absorbing*.
5. State dikatakan *transient*, proses probabilitas tidak pernah kembali ke keadaan i pada state 1 dan state 2. Berdasarkan diagram transisi yang ditunjukkan pada gambar 4.4,

Untuk P_1 ,

$$P_1^{(1)} = 0,59, \quad P_1^{(2)} = 0,59 \cdot 0,36 = 0,21, \quad P_1^{(3)} = 0,59 \cdot 0,36 \cdot 0,05 = 0,01,$$

Maka, $\sum_{n=1}^{\infty} p_1^{(n)} < \infty$.

Untuk P_2 ,

$$P_2^{(1)} = 0,94, \quad P_2^{(2)} = 0,94 \cdot 0,06 = 0,56$$

Maka, $\sum_{n=1}^{\infty} p_2^{(n)} < \infty$.

Sehingga memenuhi $\sum_{n=1}^{\infty} p_1^{(n)} < \infty$.

6. State tersebut merupakan state *aperiodic*, karena 1 periode.

3.2.5 Menghitung Probabilitas Steady-state

Probabilitas *Steady-state* adalah suatu probabilitas transisi yang telah mencapai keadaan yang seimbang atau kondisi tetap. Dalam kasus perkembangan penyakit HIV/AIDS, *Steady-state* diartikan jika kasus penyakit HIV/AIDS telah mencapai keadaan seimbang atau telah mencapai nilai konvergensi. Untuk menentukan keadaan *steady-state*, akan digunakan persamaan (12) berikut;

$$\Pi = P^T \Pi \quad (\pi_0 \ \pi_1 \ \dots \ \pi_n) = (p_{00} \ p_{10} \ \dots \ p_{n0} \ p_{01} \ p_{11} \ \dots \ p_{n1} \ \dots \ p_{0n} \ \dots \ p_{1n} \ \dots \ \dots \ p_{nn}) (\pi_0 \ \pi_1 \ \dots \ \pi_n)$$

Sehingga diperoleh,

$$[\pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3] = [0,59 \ 0 \ 0 \ 0,36 \ 0,94 \ 0 \ 0,05 \ 0,06 \ 1] [\pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3]$$

Dengan persamaan $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 = 1$, maka berdasarkan matriks tersebut, diperoleh suatu persamaan sebagai berikut;

$$\{0,59 \ \pi_1 = \pi_1 \quad (1) \quad 0,36\pi_1 + 0,94\pi_2 = \pi_2 \quad (2) \quad 0,05\pi_1 + 0,06\pi_2 + \pi_3 = \pi_3 \quad (3) \quad \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 = 1 \quad (4)$$

Dengan menggunakan metode substitusi. Maka hasil yang diperoleh dari persamaan tersebut, sebagai berikut;

Persamaan (1)

$$\begin{aligned} 0,59 \ \pi_1 &= \pi_1 \quad (1) \\ 0,59 \ \pi_1 &= \pi_1 \\ 0,59 \ \pi_1 - \pi_1 &= 0 \\ -0,40 \ \pi_1 &= 0 \\ &= 0 \\ \pi_1 &= -\frac{0}{0,4} \\ \pi_1 &= 0 \end{aligned}$$

Persamaan (2)

$$0,36\pi_1 + 0,94\pi_2 = \pi_2 \quad (2)$$

$$0,36\pi_1 + 0,94\pi_2 = \pi_2$$

Dengan $\pi_1 = 0$, maka

$$0,36(0) + 0,94\pi_2 = \pi_2$$

$$0,94\pi_2 = \pi_2$$

$$0,94\pi_2 - \pi_2 = 0$$

$$-0,06\pi_2 = 0$$

$$0$$

$$\pi_2 = -\frac{0}{0,06}$$

$$\pi_2 = 0$$

Persamaan (4)

$$\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 = 1 \quad (4)$$

$$\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 = 1$$

$$0 + 0 + \pi_3 = 1$$

$$\pi_3 = 1$$

Berdasarkan hasil yang diperoleh hasil yang diperoleh dari persamaan tersebut ialah $\pi_1 = 0$ $\pi_2 = 0$ $\pi_3 = 1$. Karena rantai tersebut menunjukkan keadaan *aperiodic*, probabilitas tersebut telah mencapai limit probabilitas atau *limiting Probability*. Sehingga, probabilitas kemungkinan pada masa depan keadaan HIV/AIDS mencapai probabilitas 0, keadaan ODHA On ART mencapai 0 dan pada keadaan meninggal 1. Maka, dapat diartikan di masa depan keadaan HIV/AIDS telah mencapai 0% atau nol HIV/AIDS dan pada pengguna ART telah mencapai 0%, namun pada keadaan meninggal telah mencapai keadaan 100% meninggal akibat HIV/AIDS.

3.2.6 Hasil Perkembangan Penyakit HIV/AIDS di Kota Medan

Dalam penelitian ini, model Markov digunakan untuk mendeskripsikan perkembangan penyakit HIV/AIDS di Kota Medan. Data yang digunakan untuk mengetahui perkembangan penyakit HIV/AIDS yang digunakan pada penelitian ini adalah populasi yang terinfeksi HIV/AIDS, menerima terapi ART, dan meninggal. Untuk menentukan perkembangan dengan model Markov hal yang harus dilakukan adalah menentukan state serta diagram transisi. Selanjutnya, hal utama dalam menentukan perkembangan penyakit HIV/AIDS adalah matriks probabilitas transisi. Pada penelitian ini, maka diperoleh suatu diagram transisi yang ditunjukkan pada gambar 4.1. dari diagram tersebut diperoleh suatu probabilitas perkembangan penyakit HIV/AIDS yang ditentukan dengan menggunakan matriks probabilitas transisi. Dari penelitian ini, Matriks probabilitas transisi nya ialah;

$$P = [0,59 \ 0,36 \ 0,05 \ 0 \ 0,94 \ 0,06 \ 0 \ 0 \ 1]$$

Berdasarkan matriks tersebut, maka probabilitas yang diperoleh pada state 1 (HIV/AIDS) ke state 2 (ODHA On ART) ialah 0,36, state 1 (HIV/AIDS) ke state 3 (Meninggal) ialah 0,05, state 2 (ODHA On ART) menuju state 3 (meninggal) ialah 0,06. Dalam penelitian ini juga, diperoleh perkembangan penyakit HIV/AIDS dalam 8 tahun kedepan. Untuk menentukan perkembangan penyakit dalam 8 tahun kedepan, maka digunakan probabilitas n-langkah dengan persamaan *chapman-kolmogorov* (2.8), $P^{(n)} = P^{(n-1)} \cdot P^{(1)} = P^{n-1} \cdot P$, Sehingga dengan menggunakan persamaan tersebut, maka diperoleh hasil probabilitas perkembangan HIV/AIDS dalam 8 tahun kedepan, yang ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 6. Perkembangan Penyakit HIV/AIDS di Kota Medan dalam Periode 8 tahun, dari tahun 2019-2030

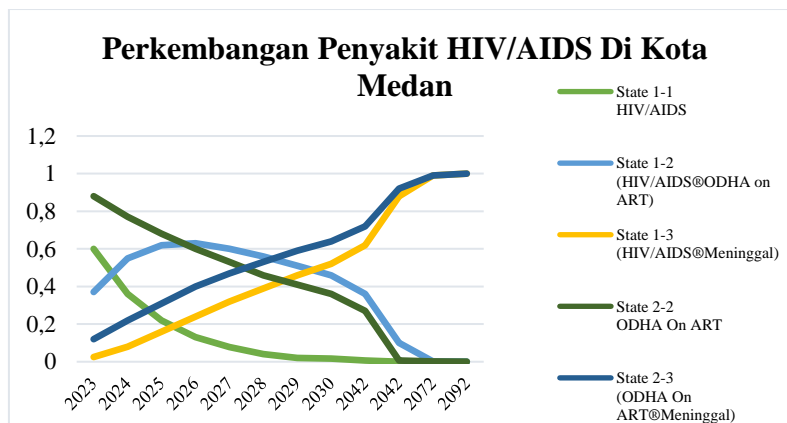
n	Tahun	State 1-1 HIV/AIDS	State 1-2 HIV/AIDS→ ODHA On ART	State 1-3 HIV/AIDS →Meninggal	State 2-2 ODHA On ART	State 2-3 ODHA On ART→Me ninggal
1	2023	0,59	0,36	0,05	0,94	0,06
2	2024	0,34	0,55	0,10	0,88	0,12
3	2025	0,21	0,64	0,15	0,83	0,20

4	2026	0,12	0,67	0,20	0,78	0,25
5	2027	0,07	0,67	0,25	0,73	0,30
6	2028	0,04	0,65	0,30	0,68	0,34
7	2029	0,02	0,62	0,34	0,60	0,38
8	2030	0,01	0,59	0,40	0,56	0,43
10	2032	0,005	0,53	0,45	0,52	0,47
19	2041	0	0,30	0,70	0,29	0,71

Dari tabel tersebut, maka dapat disimpulkan pada tahun 2030 target pemerintah dalam mencapai *Three Zero* HIV/AIDS belum tercapai, karena pada keadaan HIV/AIDS masih memiliki probabilitas 0.59 (59%), perpindahan keadaan HIV/AIDS ke keadaan ODHA On ART memiliki probabilitas 0.36 (36%), perpindahan keadaan HIV/AIDS menuju keadaan meninggal akibat HIV/AIDS memiliki probabilitas 0.05 (5%), keadaan ODHA On ART 0.94 (94%) dan pada perpindahan keadaan ODHA On ART menuju keadaan meninggal cukup tinggi yaitu 0.06 (6%). Hal yang mengakibatkan keadaan ODHA On ART menuju keadaan meninggal ini cukup tinggi ialah akibat adanya pasien yang tidak melanjutkan terapi Antiretroviral atau tidak patuh terhadap penggunaan terapi Antiretroviral.

Maka berdasarkan hasil yang telah diperoleh, pada tahun 2030 keadaan HIV/AIDS cenderung menurun, sedangkan keadaan meninggal akibat HIV/AIDS serta akibat ketidakpatuhan pada penggunaan terapi Antiretroviral terdapat peningkatan. Selain itu target pemerintah dalam mencapai *Three Zero HIV/AIDS* tercapai pada periode $n = 19$ atau tahun 2041, berdasarkan tabel kasus HIV/AIDS di periode 19 telah mencapai nol kasus HIV/AIDS, namun masih terdapat penderita HIV/AIDS yang menjalankan terapi Antiretroviral dan kasus meninggal akibat HIV/AIDS.

Hasil Rekapitulasi peningkatan atau penurunan setiap tahunnya dapat digambarkan melalui grafik, sebagai berikut;



Gambar 7. Grafik Perkembangan Penyakit HIV/AIDS di Kota Medan Tahun 2023-2030

3.2 Pembahasan

Tahap pertama yang dilakukan untuk mengetahui penerapan model markov pada perkembangan penyakit HIV/AIDS ialah mendefinisikan state markov dan diagram state. State markov yang digunakan pada penelitian ini adalah $x = [1,2,3]$ dengan state 1 merupakan keadaan pasien yang didiagnosis HIV/AIDS, state 2 merupakan penderita yang sedang melaksanakan terapi ART dan yang baru memulai art dan state 3 merupakan pasien yang meninggal akibat HIV/AIDS dan akibat berhenti menggunakan ART. Hasil ini dapat dilihat pada tabel 3 dan gambar 4.2, dimana pada tabel 3 dijelaskan state yang akan digunakan dan pada gambar 4.2 dijelaskan diagram state atau transisi perkembangan penyakit HIV/AIDS.

Pada tahap kedua ditentukan Matriks Probabilitas Transisi. Berdasarkan tabel 3 dengan menggunakan persamaan 2.2, maka diperoleh suatu probabilitas transisi dan matriks probabilitas transisi. Maka hasil yang diperoleh adalah HIV memiliki probabilitas sebesar 0.59, ODHA On ART sebesar 0.94 dan Meninggal bernilai 1. Setelah itu akan diperoleh suatu diagram state transisi berdasarkan dari hasil probabilitas transisi yang telah diperoleh pada gambar 4.3. Pada gambar 4.3, dijelaskan jika state HIV memiliki probabilitas transisi

sebesar 0.59, state HIV menuju State ODHA On ART memiliki probabilitas sebesar 0.36, state HIV menuju state meninggal memiliki probabilitas transisi sebesar 0.05, state ODHA On ART memiliki probabilitas transisi sebesar 0.94, state ODHA On ART menuju state meninggal 0.06 dan state meninggal memiliki probabilitas transisi sebesar 1.

Langkah selanjutnya ialah menghitung perkembangan Penyakit HIV/AIDS di Kota Medan dalam 8 tahun yaitu periode 2023 hingga 2030. Untuk menghitung perkembangan penyakit HIV/AIDS di Kota Medan, akan dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.7 yang merupakan persamaan Chapman-Kolmogorov. Hasil yang diperoleh dengan menggunakan persamaan Chapman-Kolmogorov adalah Perkembangan Penyakit HIV/AIDS di Kota Medan dalam 8 tahun adanya penurunan pasien yang terdiagnosa HIV/AIDS, kenaikan dan penurunan yang signifikan pada ODHA On ART, namun pada keadaan meninggal terdapat peningkatan. Pada periode 8, target pemerintah dalam mencapai *Three Zero* HIV/AIDS belum tercapai. Namun, pada periode ke-20, target pemerintah untuk mencapai nilai nol penderita HIV/AIDS telah tercapai. Selain itu, peluang konvergen atau nilai yang mendekati batas probabilitas berada pada periode ke-80 atau P^{80} . Selanjutnya akan ditentukan klasifikasi state yang digunakan untuk mengetahui hasil probabilitas *Steady-state* atau keadaan seimbang. Untuk menentukan klasifikasi state, akan digunakan pembahasan 2.3.5. maka, klasifikasi state yang diperoleh ialah state *Accessible*, state tidak saling berkomunikasi, tidak *Irreducible*, namun state mengalami *absorbing*, *transient* State, serta state *Aperiodic*. Pada langkah terakhir akan ditentukan Probabilitas *Steady-state* atau batas dari probabilitas (*Limiting Probability*). Probabilitas *steady-state* yang diperoleh pada perkembangan penyakit HIV/AIDS di Kota Medan dapat dilihat pada pembahasan 4.1.5, dimana hasil perkembangan Penyakit HIV/AIDS memiliki batas probabilitas $\pi_1 = 0$ $\pi_2 = 0$ $\pi_3 = 1$, artinya keadaan HIV/AIDS dan ODHA On ART memiliki probabilitas 0 atau 0%, dan terdapat probabilitas 1 atau 100% meninggal akibat HIV/AIDS dan akibat ketidakpatuhan penderita pada terapi antiretroviral.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat ditarik kesimpulan, sebagai berikut; Penerapan Markov pada Perkembangan Penyakit HIV/AIDS di Kota Medan ditentukan dengan menggunakan matriks probabilitas transisi., nilai transisi pada state 1 (HIV) 0,59, state 1 (HIV) menuju state 2 (ODHA On ART) 0,36, state 1 (HIV) menuju state 3 (Meninggal) 0,05, State 2 (ODHA On ART) 0,94, state 2 (ODHA On ART) menuju State 3 (meninggal) 0,06, dan state 3 (meninggal) 1. Pada state 3 (meninggal), state tersebut menunjukkan klasifikasi state dalam keadaan *absorbing*. Perkembangan HIV/AIDS di Kota Medan dalam 8 tahun kedepan ditentukan dengan menggunakan persamaan Chapman-kolmogorov pada probabilitas n-langkah. Dari penelitian yang telah dilakukan, perkembangan HIV/AIDS di Kota Medan dalam 8 tahun kedepan, mengalami peningkatan dan penurunan yang signifikan. Dari hasil penelitian yang diperoleh, pada periode ke-8 atau tahun 2030, kasus HIV/AIDS dan ODHA On ART terjadi penurunan, sedangkan pada kasus meninggal akibat HIV/AIDS serta akibat adanya ketidakpatuhan terhadap penggunaan ART terjadi peningkatan. Dan target pemerintah dalam mencapai nol kasus HIV/AIDS terjadi pada periode ke-19.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriani, A., Hanum, H., & Sukanda, D. C. (2022). *Penentuan Probabilitas Transisi Kasus Tingkat Risiko Covid-19 Di Kabupaten Ogan Ilir Melalui Rantai Markov* [PhD Thesis]. Sriwijaya University.
- Azimi, S., Hassannayebi, E., Boroun, M., & Tahmoures, M. (2020). Probabilistic analysis of long-term climate drought using *Steady-state* Markov chain approach. *Water Resources Management*, 34(15), 4703–4724.
- BPK RI. (2022). *PERDA Prov. Sumatera Utara No. 3 Tahun 2022 tentang Pencegahan dan Penanggulangan Human Immunodeficiency Virus dan Acquired Immune Deficiency Syndrome [JDIH BPK RI]*. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/226239/perda-prov-sumatera-utara-no-3-tahun-2022>
- Carlton, M. A., & Devore, J. L. (2017). *Probability with applications in engineering, science, and technology*. Springer.

- DetikSumut, T. (2022). *Tertinggi ke 5, Puluhan Ribu Warga Sumut Mengidap HIV/AIDS*. detiksumut. <https://www.detik.com/sumut/berita/d-6033806/tertinggi-ke-5-puluhan-ribu-warga-sumut-mengidap-hivaid>s
- Dobrow, R. P. (2016). *Introduction to stochastic processes with R*. John Wiley & Sons.
- Ghahramani, S. (2018). *Fundamentals of probability: With stochastic processes*. Chapman and Hall/CRC.
- Giawa, F., Lubis, R. S., & Widyasari, R. (2021). Analisis Penjualan Dan Persaingan Air Mineral Kemasan Botol Selama Pandemi Covid-19 Di Kota Medan Menggunakan Rantai Markov Orde Dua. *Math Educa Journal*, 5(1), 74-81.
- Goel, K., Grover, G., Sharma, A., & Bae, S. (2018). Multistate Markov model for predicting the natural disease progression of type 2 diabetes based On hemoglobin A1c. *Journal of Nephro pharmacology*, 8(1), e04–e04.
- Hou, Y., Jia, Y., & Hou, J. (2018). Natural Course of Clinically Isolated Syndrome: A Longitudinal Analysis Using a Markov Model. *Scientific Reports*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29206-y>
- Ibri, S., & Slimane, M. (2022). *Probability Stochastic Processes and Simulation In Python en*. https://www.researchgate.net/publication/360767027_Probability_Stochastic_Processes_and_Simulation_In_Python_en
- Irwan. (2018). *Irwan: Buku Epidemiologi Penyakit Menular*. 1782. <https://repository.ung.ac.id/karyailmiah/show/1782/irwan-buku-epidemiologi-penyakit-menular.html>
- Jones, P. W., & Smith, P. (2018). *Stochastic processes an introduction*. Chapman and Hall/CRC.
- Kuperberg, M. (2005). *Markov Models*. 4909, 48–55. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68947-8_8
- Lakatos, L., Szeidl, L., & Telek, M. (2019). Markov Chains. In L. Lakatos, L. Szeidl, & M. Telek, *Introduction to Queueing Systems with Telecommunication Applications* (pp. 93–177). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15142-3_3
- Latifah, S., & Astuti, Y. P. (2021). *Penerapan Rantai Markov Dalam Menganalisis Persaingan Jasa Pengiriman Barang (Ekspedisi)*. volume 09 No 03.
- Lie, H. (2019). Infeksi *Human Immunodeficiency Virus* (HIV) dalam Kehamilan. *Cermin Dunia Kedokteran*, 46(5), 346–351.
- Limalvin, N. P., Putri, W. C. W. S., & Sari, K. A. K. (2020). Gambaran dampak psikologis, sosial dan ekonomi pada ODHA di Yayasan Spirit Paramacitta Denpasar. *Intisari Sains Medis*, 11(1), 81–91.
- Apriani, A., Hanum, H., & Sukanda, D. C. (2022). *Penentuan Probabilitas Transisi Kasus Tingkat Risiko Covid-19 Di Kabupaten Ogan Ilir Melalui Rantai Markov* [PhD Thesis]. Sriwijaya University.
- Azimi, S., Hassannayebi, E., Boroun, M., & Tahmoures, M. (2020). Probabilistic analysis of long-term climate drought using *Steady-state* Markov chain approach. *Water Resources Management*, 34(15), 4703–4724.

- BPK RI. (2022). *PERDA Prov. Sumatera Utara No. 3 Tahun 2022 tentang Pencegahan dan Penanggulangan Human Immunodeficiency Virus dan Acquired Immune Deficiency Syndrome [JDIH BPK RI]*. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/226239/perda-prov-sumatera-utara-no-3-tahun-2022>
- Carlton, M. A., & Devore, J. L. (2017). *Probability with applications in engineering, science, and technology*. Springer.
- DetikSumut, T. (2022). *Tertinggi ke 5, Puluhan Ribu Warga Sumut Mengidap HIV/AIDS*. detiksumut. <https://www.detik.com/sumut/berita/d-6033806/tertinggi-ke-5-puluhan-ribu-warga-sumut-mengidap-hiv-aids>
- Dobrow, R. P. (2016). *Introduction to stochastic processes with R*. John Wiley & Sons.
- Ghahramani, S. (2018). *Fundamentals of probability: With stochastic processes*. Chapman and Hall/CRC.
- Giawa, F., Lubis, R. S., & Widyasari, R. (2021). Analisis Penjualan Dan Persaingan Air Mineral Kemasan Botol Selama Pandemi Covid-19 Di Kota Medan Menggunakan Rantai Markov Orde Dua. *Math Educa Journal*, 5(1), 74-81.
- Goel, K., Grover, G., Sharma, A., & Bae, S. (2018). Multistate Markov model for predicting the natural disease progression of type 2 diabetes based On hemoglobin A1c. *Journal of Nephro pharmacology*, 8(1), e04–e04.
- Hou, Y., Jia, Y., & Hou, J. (2018). Natural Course of Clinically Isolated Syndrome: A Longitudinal Analysis Using a Markov Model. *Scientific Reports*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29206-y>
- Ibri, S., & Slimane, M. (2022). *Probability Stochastic Processes and Simulation In Python en*. https://www.researchgate.net/publication/360767027_Probability_Stochastic_Processes_and_Simulation_In_Python_en
- Irwan. (2018). *Irwan: Buku Epidemiologi Penyakit Menular*. 1782. <https://repository.ung.ac.id/karyailmiah/show/1782/irwan-buku-epidemiologi-penyakit-menular.html>
- Jones, P. W., & Smith, P. (2018). *Stochastic processes an introduction*. Chapman and Hall/CRC.
- Kuperberg, M. (2005). *Markov Models*. 4909, 48–55. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68947-8_8
- Lakatos, L., Szeidl, L., & Telek, M. (2019). Markov Chains. In L. Lakatos, L. Szeidl, & M. Telek, *Introduction to Queueing Systems with Telecommunication Applications* (pp. 93–177). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15142-3_3
- Latifah, S., & Astuti, Y. P. (2021). *Penerapan Rantai Markov Dalam Menganalisis Persaingan Jasa Pengiriman Barang (Ekspedisi)*. volume 09 No 03.
- Lie, H. (2019). Infeksi *Human Immunodeficiency Virus* (HIV) dalam Kehamilan. *Cermin Dunia Kedokteran*, 46(5), 346–351.
- Limalvin, N. P., Putri, W. C. W. S., & Sari, K. A. K. (2020). Gambaran dampak psikologis, sosial dan ekonomi pada ODHA di Yayasan Spirit Paramacitta Denpasar. *Intisari Sains Medis*, 11(1), 81–91.

- Octavia, T. (2018). *Penentuan Peluang Transisi HIV-AIDS Progression Model Menggunakan Metode Matriks Force Of Transition Determination Of Transition Probability Of HIV-AIDS Progression Model Using The Force Of Transition Matrix Method* [PhD Thesis]. Universitas Mataram.
- Prahtama, A., Warsito, B., Mukid, M. A., & Sari, N. P. (2017). Model Stokhastik Antrian Non Poisson Pada Pelayanan Perbankan. *Jurnal Statistika Universitas Muhammadiyah Semarang*, 5(1).
- Purwono, F. H., Ulya, A. U., Purnasari, N., & Juniarmoko, R. (2019). *Metodologi Penelitian (Kuantitatif, Kualitatif dan Mix Method)*. GUEPEDIA.
- Republika. (2022, November 29). *Target Indonesia Menuju “Three Zero HIV/AIDS 2030” Masih Belum Optimal* | *Republika Online*. <https://www.republika.co.id/berita/rm48v9463/target-Indonesia-menuju-three-zero-hivaid-2030-masih-belum-optimal>
- Sazali, A., Setiadji, B. H., & Haryadi, B. (2019). Aplikasi Model Rantai Markov Dalam Pengelolaan Jalan di Kabupaten Bangka Barat. *Rekayasa*, 12(2), 141–150.
- Shoko, C., & Chikobvu, D. (2018). Time-homogeneous Markov process for HIV/AIDS progression under a combination treatment therapy: Cohort study, South Africa. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 15(1), 1–14.
- Siergar, H. C. (2017). *Model Rantai Markov Pada Pergerakan Kurs Mata Uang Asing Terhadap Rupiah*. 72.
- Sugiyono, D. (2013). *Metode penelitian pendidikan pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R&D*.
- Taylor, S. (2020). *Markov Models: An Introduction to Markov Models*. Steven Taylor.
- Tribun Medan. (2022). *Hingga September 2022, Ada 187 Orang di Kota Medan Tertular HIV, Didominasi Laki-laki*. *Tribun-medan.com*. <https://medan.tribunnews.com/2022/09/10/hingga-september-2022-ada-187-orang-di-kota-medan-tertular-hiv-didominasi-laki-laki>
- Urban, D. L., & Wallin, D. O. (2017). Introduction to Markov models. In *Learning landscape ecology* (pp. 129–142). Springer.
- Wahyudi, S. R., Sari, R. F., & Widyasari, R. (2021). Penentuan Pola Penyebaran Curah Hujan Harian Kabupaten Karo Dengan Menggunakan Rantai Markov Orde-N. *Jurnal Riset dan Aplikasi Matematika (JRAM)*, 5(2), 144-157.