VOLUME 02, No 01, June 2023
e-ISSN: 2987-906X
https://ejournal.unib.ac.id/diophantine

Kajian Matematis Mengenai Strategi Pengembangbiakan Sapi Potong Lokal Guna Meningkatkan Kualitas Daging Sapi

Zaki Maulana Hidayat[1*], Andzar Tsaqif Laksana[2], dan Anita Triska[3]

[1,2] Prodi S1 Matematika, Universitas Padjadjaran, Indonesia
[3] Departemen Matematika, Universitas Padjadjaran, Indonesia

* Corresponding Author: zaki19003@mail.unpad.ac.id

Article Information

Article History:
Submitted: 06 26 2023
Accepted: 06 19 2023
Published: 06 30 2023

Key Words:
Algebra
Genetics
Beef Cattle
Breeding

DOI:
https://doi.org/10.33369/diophantine.v2i01.27771

Abstract

Beef is one of the most demanded food products in Indonesia compared to other meat commodities. The high demand of this commodity causes a shortage of its supply so that the government has to import it from other countries. As the consequences, people in Indonesia prefer to consume imported beef rather than local beef, especially those in the food industry, since imported beef has better quality. Thus, government may establish a program that is able to increase the local beef quality thereby increasing its competitiveness, for instant by cross-breeding of local and imported cattle. This paper is to discuss a cross-breeding simulation to predict the distribution of offspring produced in the next few generations through mathematical approach. Simulations are conducted by following the X-Linked Inheritance concept and algebra. Simulations are carried out by three different scenarios which consider gender of the imported cattle. The simulations show that all scenarios are able to produce local cattle offspring with imported quality. However, the offspring from the cross-breeding still preserve cattle with original local genetic with a different ratio between the first and the second scenario.

1. PENDAHULUAN

Daging sapi merupakan salah satu produk pangan yang dianggap memiliki nilai gizi yang baik untuk memenuhi kebutuhan protein masyarakat [1]. Menurut data yang disampaikan oleh Departemen Pertanian [2], daging sapi adalah komoditas yang paling diminati dibandingkan dengan komoditas daging-daging lainnya seperti daging kambing, kerbau, dan babi. Masyarakat Indonesia sendiri tak hanya mengkonsumsi daging sapi lokal, sebagian dari mereka mengkonsumsi daging sapi impor dari negara lain. Daging sapi lokal seringkali dijual dalam keadaan masih segar di berbagai pasar lokal. Namun daging sapi non-lokal yang diimpor dari berbagai negara seperti Australia dan Selandia baru, sering kali dalam keadaan beku yang memiliki banyak lemak [3].

Namun permasalahan mengenai kenaikan harga daging sapi yang tiba-tiba naik pada waktu tertentu terkadang menjadi topik yang hangat untuk dibicarakan di beberapa media. Hal tersebut diakibatkan ketidakpastian akan ketersedian daging sapi yang ada di Indonesia yang mengharuskan pemerintah mengimpor daging sapi dari luar negeri [4]. Pasokan daging sapi di Indonesia masih kurang sebesar 35% atau sekitar 135,1 ribu ton dari kebutuhan 385 ribu ton. Defisit populasi sapi diperkirakan 10,7% dari jumlah ideal yaitu sekitar 1,18 juta ekor. Oleh karena itu, pemerintah melakukan kebijakan impor [5].

Indonesia mengimpor daging sapi dari berbagai negara seperti Amerika Serikat, Australia, Selandia Baru, Kanada, dan Jepang [6, 7]. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS), impor daging sapi Indonesia pada tahun 2021 mencapai US$785,15 juta dengan volume sebesar 211,43 ribu ton. Jumlah impor tersebut menunjukkan peningkatan sebesar 26,51% dari tahun 2020 yang mencapai US$585,99 juta, sedangkan volume impor daging sapi tercatat naik 33,76% dibandingkan setahun sebelumnya. Pada tahun 2020 volume impor daging sapi ke Indonesia hanya sebesar 167,13 ribu ton [6].

Kualitas dari daging impor memiliki beberapa kelebihan dari daging sapi lokal, di antaranya daginya yang lebih empuk dan gurih [8]. Hal tersebut menyebabkan konsumen lebih menyukai daging sapi impor dibandingkan daging sapi lokal. Harga daging impor yang lebih terjangkau yang didukung dengan kualitas daging yang lebih unggul membuat daging impor banyak diminati terutama pihak-pihak yang bergerak pada industri makanan olahan daging

sapi [9]. Direktur utama PD Dharma Jaya mengatakan bahwa meskipun pemerintah menjalankan program kapal ternak untuk membangkitkan semangat para peternak sapi di NTT, daging sapi lokal tetap tak mampu bersaing dengan daging sapi impor dikarenakan daging sapi lokal masih kalah dalam segi bobot. Oleh karena itu, kualitas sapi-sapi lokal terutama dari segi bobot dan juga kesehatannya harus dijadikan prioritas juga bagi pemerintah dalam meningkatkan kualitas sapi-sapi lokal [10].

Melalui Kementrian Perdagangan, Pemerintah berencana menambahkan daging impor baik sapi maupun kerbau. Para pedagang lokal mengeluhkan rencana pemerintah dalam menambahkan daging sapi dan kerbau impor. Hal tersebut berdampak pada penurunan pembelian dari pedagang lokal karenak daging impor membanjiri pasaran. Daging sapi yang diimpor cenderung lebih murah dibanding daging sapi lokal, sehingga daging sapi lokal kalah saing dengan daging sapi impor di pasaran [11]. Melonjaknya jumlah daging sapi impor memang dinilai akan memberikan manfaat bagi kelangsungan peternak sapi lokal. Namun hal ini tidak selalu bisa menjadi solusi terbaik untuk mengurangi tingkat kenaikan harga daging sapi di Indonesia. Pasalnya, penyebab terjadinya kenaikan harga daging sapi juga dapat dipengaruhi oleh harga daging sapi yang diimpor [12]. Selain itu jika jumlahnya terlalu banyak maka hal tersebut akan merugikan peternak sapi lokal. Hal ini disebabkan karena permintaan terhadap sapi yang diternakkan menjadi sulit dijangkau oleh Rumah Potong Hewan (RPH) akibat rendahnya minat masayarakat terhadap daging sapi lokal yang kurang diminati karena harga daging impor yang lebih murah [13].

Kenaikan harga dari sapi lokal ini dapat diminimalisir dengan swasembada pangan yang diinisiasikan oleh pemerintah. Swasembada sapi lokal pernah dilakukan oleh pemerintah sebelumnya yang dinamakan sebagai Program Swasembada Daging Sapi (PSDS) [14]. PSDS bertujuan untuk mewujudkan kemandirian pangan nasional yang di mana minimal 90 persen kebutuhan daging sapi dipenuhi dari produksi domestik, sementara 10 persen sisanya dipenuhi dari impor. Namun hal ini perlu didukung dengan peningkatan kualitas dari peternak-peternak sapi yang ada di Indonesia. Salah satu upayanya yaitu dengan meningkatan fasilitas dan kualitas dari sumber daya manusia serta kualitas dari sapi yang dihasilkan. Pemerintah dapat merencanakan perkawinan silang antara sapi lokal dengan sapi impor dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas daging sapi lokal. Hal tersebut dilakukan supaya masyarakat Indonesia lebih memilih daging sapi lokal yang memiliki kualitas sama dengan daging sapi impor.

Perkawinan silang antara sapi lokal dengan sapi impor dapat dilakukan dengan harapan menghasilkan keturunan sapi-sapi lokal yang memiliki sifat dan kualitas yang sama dengan sapi impor. Perkawinan silang tersebut memanfaatkan sifat biologis di mana keturunan akan mewarisi sifat dan karaktersitik dari kedua orang tuanya. Hasil kemungkinan dari keturunan yang dihasilkan dapat diprediksi dengan menerapkan ilmu matematika, sehingga perkawinan tersebut dapat dilakukan simulasi untuk mengetahui apakah perkawinan yang akan dilakukan dapat mengasilkan sapi lokal yang berkualitas impor. Tetapi dalam program kawin silang sebaiknya tetap disertai dengan upaya mempertahankan plasma nutfah sapi lokal. Kawin silang tersebut dikhawatirkan menjadikan sapi lokal Indonesia semakin sulit ditemukan atau dengan kata lain teracam punah [15]. Karena Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam hal keragaman genetik, termasuk dalam populasi sapi potong lokal yang telah beradaptasi dengan baik di lingkungan sekitarnya. Keanekaragaman sumber daya genetik hewan ternak merupakan aset nasional yang sangat berharga dan perlu dijaga kelestariannya [16].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis terdorong untuk melakukan penelitan mengenai perkawinan silang antara sapi lokal dengan sapi impor dengan tujuan meningkatkan kualitas daging sapi lokal. Penelitian dilakukan dengan menggunakan simulasi *X-Linked Inheritance* [17] dalam memperkirakan sifat keturunan dari perkawinan silang tersebut. Simulasi *X-Linked Inheritance* digunakan karena dalam penelitian ini, jenis kelamin dari sapi yang disimulasikan dipertimbangkan. Simulasi dilakukan dengan harapan dapat memperkirakan hasil dari distribusi jenis sapi yang dihasilkan dari perkawinan sapi lokal dengan sapi impor sesuai dengan jenis kelamin sapi tersebut. Hasil distribusi yang diperoleh dari simulasi yang dilakukan dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk menerapkan perkawinan pada beberapa peternakan di Indonesia.

2. METODE

Dalam penelitian ini penulis melakukan studi literatur pada beberapa sumber yang berasal dari media berita, artikel ilmiah, buku, dan sumber lainnya untuk mengaplikasikan aljabar linear pada simulasi persilangan. Simulasi persilangan menggunakan metode *X-Linked Inheritance* [17] dalam memperkirakan sifat keturunan dari perkawinan silang antara sapi impor dengan sapi lokal. *X-Linked Inheritance* merupakan salah satu metode dalam memperkirakan sifat dari keturunan yang dihasilkan dengan mempertimbangkan sifat atau karakteristik yang dimiiliki individu laki-laki dan individu perempuan [17]. Algoritma dari simulasi yang dilakukan mengikuti algoritma beberapa penelitian sebelumnya, seperti penelitian Thiriata dkk [18], Nurmian dkk [19], dan Aziz dkk [20] . Dalam skripsi ini, imulasi dilakukan hingga beberapa generasi untuk memperkirakan distribusi yang diperoleh dari perkawinan silang dalam jangka waktu yang panjang.

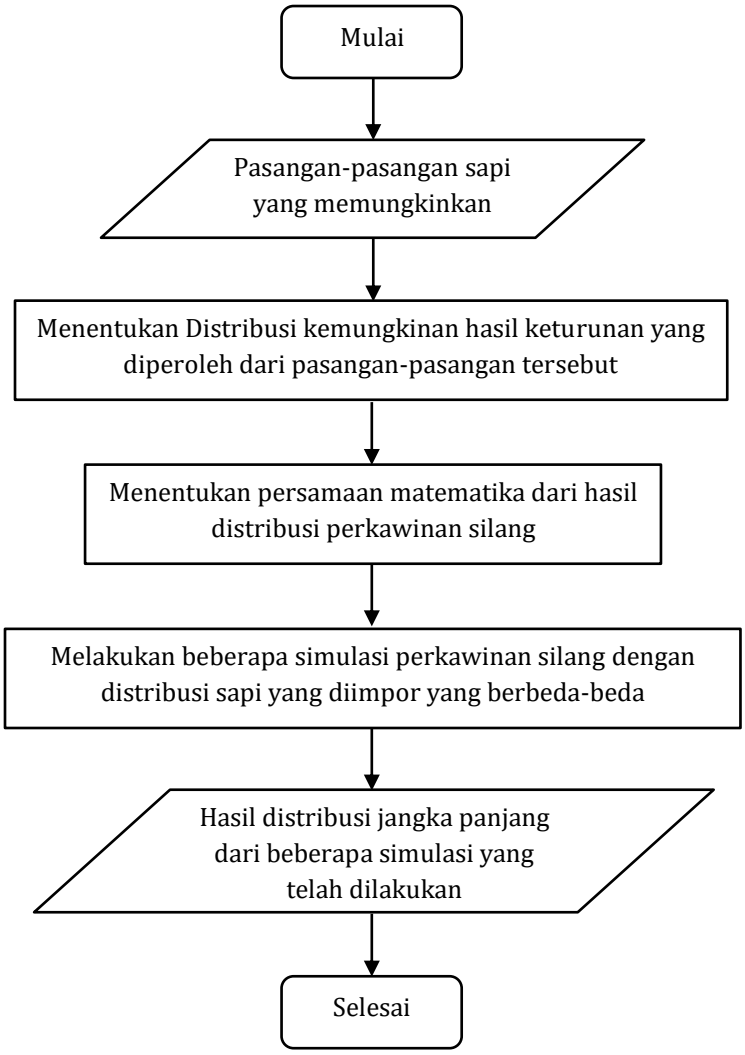
Perkawinan dengan *X-Linked Inheritance* memanfaatkan penurunan sifat dari kromosom X yang laki-laki atau jantan memiliki satu buah dan perempuan atau betina memiliki dua buah [17]. Dalam *X-Linked Inheritance*, sifat yang diwarisi oleh individu yang dihasilkan dari perkawinan tersebut tergantung dari jenis kelaminnya. Individu berjenis kelamin

jantan hanya dapat mewarisi sifat atau watak yang dimiliki dari orang tuanya yang betina. Sementara individu berjenis kelamin betina dapat mewarisi sifat atau watak yand dimiliki dari kedua orang tuanya.

Pengaplikasian aljabar pada penilitian ini digunakan untuk membantu proses penentuan distribusi pada simulasi perkawinan silang yang dilakukan. Beberapa materi aljabar yang diaplikasikan dalam penelitian ini adalah:

1. Nilai Eigen dan Vektor Eigen
   Penggunaan nilai dan vektor eigen tidak hanya terbatas pada penelitian dalam ruang lingkup aljabar saja. Nilai dan vektor eigen digunakan dalam mengatasi beberapa masalah di bidang lain. Contohnya seperti penentuan orientasi pada pesawat ulak alik dalam angkasa [21], penentuan umur suatu penduduk usia tertentu [17], dan penentuan baik tidaknya suatu sumber suara [22]. Menurut Anton [17], jika M adalah sebuah matriks persegi berukuran $n \times n$, maka vektor tak nol $\mathbf{x} \in R^n$ disebut vektor eigen dari M jika $M\mathbf{x}$ adalah sebuah kelipatan skalar dari $\mathbf{x}$ yaitu,
   $$M\mathbf{x} = \lambda\mathbf{x},$$
   untuk sembarang skalar λ. Skalar λ disebut dengan nilai eigen dari M.
2. Diagonalisasi Matriks
   Menurut Anton [17], jika M adalah sebuah matriks persegi berukuran $n \times n$, maka sebuah matriks P mengdiagonalisasikan M dan M didiagonalisasi oleh matriks P apabila,
   $$P^{\mathrm{T}}MP = D,$$
   di mana D adalah matriks diagonal.

Adapun tahapan simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1** :



Gambar 1. Diagram alir dari simulasi perkawinan silang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas daging yang berasal dari sapi lokal berbeda dengan daging sapi yang diimpor. Hal tersebut dikarenakan beberapa jenis sapi impor memiliki keunggulan dari sapi lokal. Namun menurut Gunawan [8], faktor kualitas daging

tidak hanya dari jenis sapi itu sendiri. Kualitas daging sapi juga dipengaruhi dari pemeliharan sapi ketika sebelum dipotong [23], pemberian ransum energi [24], dan teknik penyimpanannya [25]. Selain itu, lamanya penyimpanan [26] dan pengelolahan daging setelah disimpan dalam keadaan beku [27] pun berpengaruh terhadap kualitas daging. Namun pada penelitian ini, faktor kualitas daging hanya dilihat pada kualitas genetik dari sapi yang dipelajari. Hasil dari analisa Gunawan [8] dan Cahyasari dkk [28] menyatakan bahwa terdapat perbedaan kualitas antara daging sapi lokal dan daging sapi impor, yang dijelaskan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Perbandingan daging sapi impor dengan daging sapi lokal.

Kualitas	Impor	Lokal
Warna	Merah segar darah	Merah segar darah
Tekstur	Empuk	Keras
Lemak	Jumlah lemak banyak dan berwarna putih	Jumlah lemak sedikit dan berwarna kekuningan
Rasa	Dagingnya gurih atau *tasty*, *juiciness*, dan *melted* di mulut	Dagingnya hambar, tidak ada *juicy* daging, dan tidak *tasty*
Aroma	Berbau khas daging serta tidak anyir	Berbau khas daging serta tidak anyir
Protein	Kadar protein normal $(16{,}43 - 18{,}54\%)$	Kadar protein normal $(16{,}14 - 16{,}49\%)$

Berdasarkan **Tabel 1**, kualitas daging sapi lokal masih belum dapat menandingi kulitas dari daging sapi impor. Kondisi tersebut diasumsikan berlaku untuk jenis kelamin jantan maupun betina. Karena jenis kelamin dari sapi tidak mempengaruhi kualitas dari dagingnya [29]. Walaupun kualitas sapi lokal lebih rendah dibanding sapi impor, kualitas dari daging sapi lokal dapat ditingkatkan dengan mengawinkan sapi lokal dengan sapi impor. Hal tersebut dapat terjadi keturunan dari perkawinan dua individu dapat membawa alel dari salah satu atau kedua orang tuanya. Alel sendiri merupakan gen yang membawa sifat-sifat atau karakteristik dari suatu individu [30]. Kombinasi dari satu atau beberapa alel yang dimiliki suatu organisme dinamakan sebagai genotipe. Sedangkan sifat yang terlihat atau tampak dari genotipe yang dimiliki disebut sebagai fenotipe [30].

Sifat-sifat yang terdapat dalam alel suatu individu dapat diwariskan ke keturunannya. Namun, hal tersebut tidak selalu benar karena terdapat beberapa kasus di mana salah satu alel dari salah salu pasangan individu lebih unggul dibanding dengan alel pada individu lainnya. Sebagai contoh jika terdapat dua pohon mangga di mana pohon yang pertama memiliki buah yang manis dan harum, sementara pohon yang kedua buahnya tidak manis dan tidak harum. Dalam kasus ini, pohon pertama memiliki alel yang lebih unggul dibandingkan alel pada pohon kedua. Hal tersebut menyebabkan kemungkinan keturunannya memiliki buah yang manis dan harum lebih besar dibanding dengan keturunan yang memiliki buah yang tidak manis dan tidak harum.

Dalam kasus perkawinan sapi silang pada penelitian ini, asumsikan bahwa sapi jantan memiliki genotipe A dan a. Asumsikan pula sapi betina memiliki genotipe AA, Aa, dan aa. Karena daging sapi impor lebih berkulitas dari daging sapi lokal, diasumsikan bahwa alel dari sapi impor lebih unggul dibanding sapi lokal. Alel sapi impor pada asumsi genotipe yang dinyatakan ditandai dengan huruf kapital. Karena alel dari sapi impor lebih unggul, keturunan yang dihasilkan memiliki kemungkinan menghasilkan sapi-sapi yang berkualitas impor. Dari asumsi-asumsi tersebut diperoleh enam kemungkinan perkawinan yang terjadi, yaitu

$$A \times AA,\ \ A \times Aa,\ \ A \times aa,\ \ a \times AA,\ \ a \times Aa,\ \ a \times aa,$$

yang selanjutnya dituliskan dengan

$$(A, AA),\ \ (A, Aa),\ \ (A, aa),\ \ (a, AA),\ \ (a, Aa),\ \ (a, aa).$$

Tahap selanjutnya akan digunakan metode *X-Linked Inheritance* untuk memperkirakan hasil dari perkawinan silang antara sapi impor dengan sapi lokal. Seperti yang dijelaskan pada metode, individu berjenis kelamin jantan menerima satu gen dari orang tua berjenis kelamin betina dengan probabilitas setara. Sementara individu berjenis kelamin betina menerima gen dari orang tua berjenis kelamin jantan dan salah satu gen dari orang tua berjenis kelamin betina dengan probabilitas setara. Dari kemungkinan perkawinan-perkawinan yang dapat terjadi, hal ini dapat dibentuk ke dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil distribusi perkawinan sapi.

Hasil Kemungkinan	**Perkawinan dari Genotipes Orang Tua (Jantan, Betina)**					
	(A, AA)	(A, Aa)	(A, aa)	(a, AA)	(a, Aa)	(a, aa)
A	1	$\frac{1}{2}$	0	1	$\frac{1}{2}$	0
a	0	$\frac{1}{2}$	1	0	$\frac{1}{2}$	1
AA	1	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0
Aa	0	$\frac{1}{2}$	1	1	$\frac{1}{2}$	0
aa	0	0	0	0	$\frac{1}{2}$	1

Hasil kemungkinan perkawinkan dua individu jantan dan betina yang diperoleh pada **Tabel 2**, dapat disusun ulang ke dalam tabel yang baru. Hal tersebut dilakukan supaya pembetukan dan perhitungan dapat dilakukan dengan lebih mudah. Setelah penyusunan, diperoleh **Tabel 3** yang berisikan hasil kemungkinan keturunan yang diperoleh. Namun, distribusi hasil keturunan pada **Tabel 3** dikelompokkan sama dengan format perkawinan kedua orang tuanya.

Tabel 3. Hasil distribusi perkawinan sapi (2).

Hasil Kemungkinan	**Perkawinan dari Genotipes Orang Tua (Jantan, Betina)**					
	(A, AA)	(A, Aa)	(A, aa)	(a, AA)	(a, Aa)	(a, aa)
(A, AA)	1	$\frac{1}{4}$	0	0	0	0
(A, Aa)	0	$\frac{1}{4}$	0	1	$\frac{1}{4}$	0
(A, aa)	0	0	0	0	$\frac{1}{4}$	0
(a, AA)	0	$\frac{1}{4}$	0	0	0	0
(a, Aa)	0	$\frac{1}{4}$	1	0	$\frac{1}{4}$	0
(a, aa)	0	0	0	0	$\frac{1}{4}$	1

Untuk mempermudah pembahasan dari **Tabel 3**, misalkan bahwa
a_n : kemungkinan pasangan saudara kandung yang dikawinkan pada generasi ke-n yang bertipe (A, AA),
b_n : kemungkinan pasangan saudara kandung yang dikawinkan pada generasi ke-n yang bertipe (A, Aa),
c_n : kemungkinan pasangan saudara kandung yang dikawinkan pada generasi ke-n yang bertipe (A, aa),
d_n : kemungkinan pasangan saudara kandung yang dikawinkan pada generasi ke-n yang bertipe (a, AA),
e_n : kemungkinan pasangan saudara kandung yang dikawinkan pada generasi ke-n yang bertipe (a, Aa),
f_n : kemungkinan pasangan saudara kandung yang dikawinkan pada generasi ke-n yang bertipe (a, aa),
dengan $n = 0,1,2, \ldots$ menyatakan sebagai suatu generasi ke-n dan

$$a_n + b_n + c_n + d_n + e_n + f_n = 1. \tag{1}$$

Dari **Tabel 3**, hasil distribusi perkawinan dapat dinyatakan ke dalam suatu persamaan, yaitu

$$\mathbf{x}^n = M\mathbf{x}^{(n-1)} \tag{2}$$

dengan M adalah matriks kemungkinan distribusi dari hasil perkawinan dari **Tabel 3** dan $\mathbf{x}^n$ adalah vektor distribusi pada generasi ke-n. Vektor $\mathbf{x}^n$ dinyatakan dengan

$$\mathbf{x}^n = [a_n \quad b_n \quad c_n \quad d_n \quad e_n \quad f_n] \tag{3}$$

Sementara matriks M dinyatakan dengan matriks dengan entri-entri dari **Tabel 3**, yaitu

$$M = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{4} & 0 & 1 & \frac{1}{4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4} & 0 \\ 0 & \frac{1}{4} & 0 & 0 & \frac{1}{4} & 0 \\ 0 & \frac{1}{4} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4} & 1 \end{bmatrix}. \tag{4}$$

Dari persamaan (2), diperoleh

$$\mathbf{x}^n = M^n \mathbf{x}^{(0)}. \tag{5}$$

Matriks M pada persamaan (4) dapat difaktorisasi sehingga persamaan (4) dapat dinyatakan menjadi

$$\mathbf{x}^n = PD^nP^{-1}\mathbf{x}^{(0)}, \tag{6}$$

di mana P merupakan matriks pendiagonal dan D merupakan matriks diagonal yang entri-entri diagonalnya merupakan nilai eigen dari matriks M. Matriks P memuat vektor-vektor eigen vertikal dari matriks M yang bersesuaian dengan nilai eigen pada entri dalam matriks D.

Dilakukan simulasi secara terus menerus dari generasi pertama, kedua, dan seterusnya. Hal tersebut terus dilakukan dalam jangka waktu yang panjang sehingga persamaan (5) dapat dinyatakan dengan

$$\lim_{n\to\infty} \mathbf{x}^{\boldsymbol{n}} = \lim_{n\to\infty} PD^nP^{-1}\mathbf{x}^{(0)}. \tag{7}$$

Seperti yang dijelaskan pada pendahuluan bahwa kasus tersebut akan mengawinkan sapi impor dengan sapi lokal. Namun, masih belum diketahui apakah sapi yang diimpor harus berkelamin jantan atau berkelamin betina. Oleh karena itu, akan dilakukan tiga simulasi yang berbeda untuk mengetahui hasil akhir distribusi persilangan yang dihasilkan.

Simulasi pertama dilakukan dengan mengimpor sapi berkelamin jantan yang dikawinsilangkan dengan sapi betina lokal. Asumsikan bahwa sapi jantan impor memiliki genotipe A dan sapi betina lokal memiliki genotipe aa. Distribusi awal pasangan genotipe dari simulasi pertama adalah

$$c_0 = 1 \quad \text{dan} \quad a_0 = b_0 = d_0 = e_0 = f_0 = 0.$$

Sementara simulasi kedua dilakukan dengan mengimpor sapi berkelamin betina yang dikawinsilangkan dengan sapi jantan lokal. Asumsikan bahwa sapi jantan lokal memiliki genotipe a dan sapi betina impor memiliki genotipe AA. Distribusi awal pasangan genotipe dari simulasi kedua adalah

$$d_0 = 1 \quad \text{dan} \quad a_0 = b_0 = c_0 = e_0 = f_0 = 0.$$

Simulasi ketiga dilakukan dengan mengimpor sapi berkelamin jantan dan betina dengan distribusi yang sama. Perkawinan silang dilakukan dengan mengkawinkan sapi jantan impor dengan sapi betina lokal dan sapi jantan lokal dengan sapi betina impor. Dengan asumsi genotipe yang sama dari simulasi pertama dan kedua, diperoleh distribusi awal pasangan genotipe untuk simulasi ketiga, yaitu

$$c_0 = \frac{1}{2}, \quad d_0 = \frac{1}{2}, \quad \text{dan} \quad a_0 = b_0 = e_0 = f_0 = 0.$$

Simulasi dilakukan dengan memsubstitusikan nilai-nilai variabel generasi awal $(n = 0)$ ke persamaan (6). Diperoleh hasil akhir distribusi dari perkawinan antara yang berbeda dari simulasi pertama, kedua, dan ketiga.

Misalkan $\mathbf{x}_i^n$ adalah vektor distribusi generasi ke-n dari simulasi ke-i. Hasil distribusi dalam jangka waktu yang panjang yang diperoleh dari substitusi nilai-nilai awal ke persamaan (6) untuk simulasi pertama adalah

$$\lim_{n\to\infty} \mathbf{x}_1^n = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2}{3} \end{bmatrix}. \tag{8}$$

Sementara distribusi jangka panjang untuk simulasi kedua adalah

$$\lim_{n\to\infty} \mathbf{x}_2^n = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{3} \end{bmatrix}. \tag{9}$$

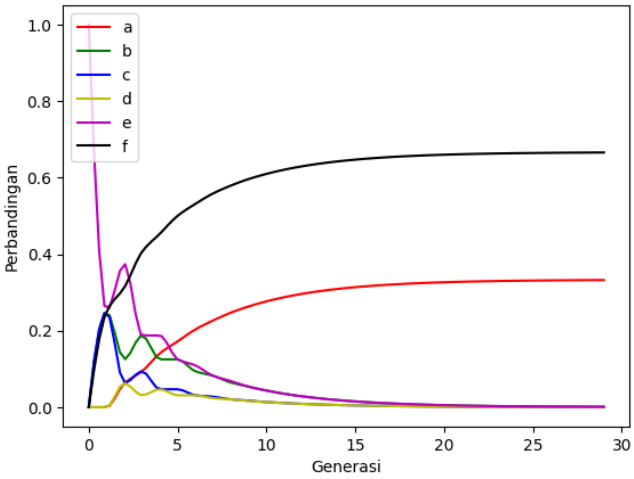
Dan distribusi jangka panjang untuk simulasi ketiga adalah adalah

$$\lim_{n\to\infty} \mathbf{x}_3^n = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix}. \tag{10}$$

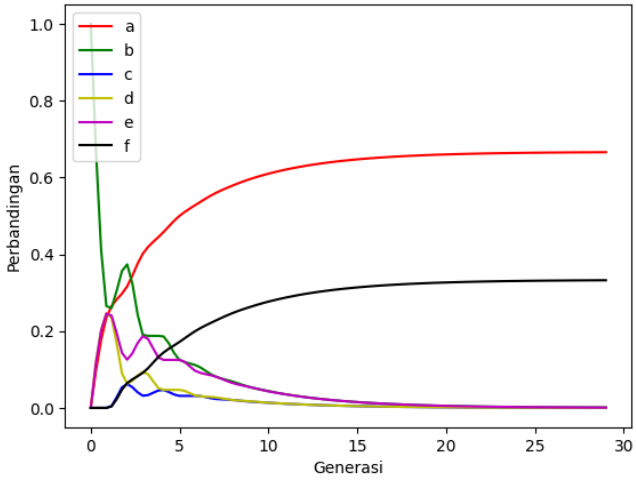
Selain itu, simulasi juga dilakukan dengan bantuan bahasa pemograman Python untuk mendapatkan gambaran secara grafis. Simulasi dilakukan dengan algoritma yang merujuk persamaan (2) dengan langkah-langkah sebagai berikut.

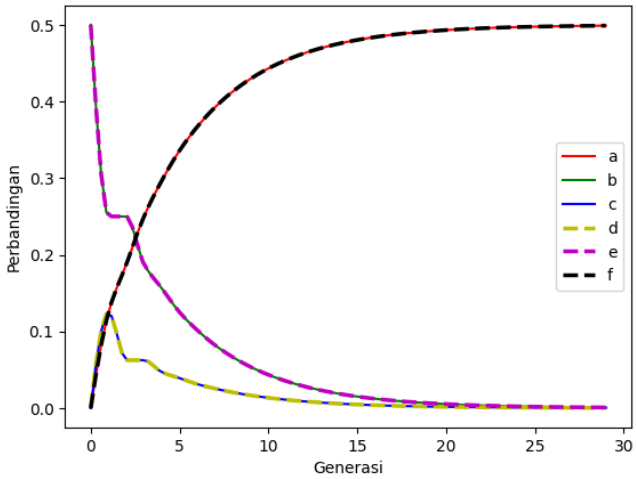
1. Mendeklarasi matriks kemungkinan distribusi dan vektor distribusi generasi awal.
2. Menentukan vektor distribusi pertama dengan menggunakan matriks kemungkinan distribusi dan vektor distribusi generasi sebelumnya sesuai dengan persamaan (2).
3. Mengulangi langkah kedua untuk menentukan vektor distribusi generasi kedua, ketiga, dan seterusnya.
4. Membuat kurva laju genotipe dari masing-masing entri untuk setiap vektor distribusi yang diperoleh. Kurva pertama dikonstruksi dari entri pertama dari setiap vektor distribusi, kurva kedua dikonstruksi dari entri kedua dari setiap vektor distribusi, dan seterusnya.
5. Menampilkan kurva-kurva yang diperoleh ke dalam satu grafik.

Hasil yang diperoleh ditampilkan pada **Gambar 2**, **Gambar 3**, dan **Gambar 4**.



Gambar 2. Laju perbandingan genotipe sapi simulasi pertama.





Gambar 3. Laju perbandingan genotipe sapi simulasi kedua.

Gambar 4. Laju perbandingan genotipe sapi simulasi ketiga.

Gambar 2, **Gambar 3**, dan **Gambar 4** merupakan grafik dari laju distribusi perbandingan genotipe sapi dari simulasi pertama, kedua, dan ketiga. Kurva berwarna merah mewakili distribusi dari a_n, kurva berwarna hijau mewakili distribusi dari b_n, dan seterusnya. Dari grafik-grafik tersebut, perbandingan distribusi genotipe sapi dalam jangka waktu yang panjang menuju ke suatu nilai dengan hasil perbandingan yang diperoleh sama dengan persamaan (8), (9), dan (10).

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, secara matematis strategi perkawinan antara sapi lokal dengan sapi impor dapat menghasilkan keturunan sapi lokal yang berkualitas impor. Namun, strategi perkawinan silang ini tetap dapat dilakukan tanpa menghilangkan eksitensi dari spesies asli sapi lokal di Indonesia. Hasil distribusi dari keturunan yang dihasilkan dipengaruhi oleh jenis kelamin dari sapi yang diimpor. Perkawinan antara sapi jantan impor dengan sapi betina lokal, dalam jangka waktu yang panjang, akan menghasilkan pasangan keturunan sapi impor dan sapi lokal dengan perbandingan 1:2. Sementara perkawinan antara sapi jantan lokal dengan sapi betina impor akan menghasilkan pasangan keturunan sapi impor dan sapi lokal dengan perbandingan 2:1 dalam jangka waktu yang sama. Jika sapi yang diimpor adalah sapi berkelamin jantan dan betina dengan distribusi yang sama, maka akan menghasilkan pasangan keturunan sapi impor dan lokal dengan perbandingan 1:1. Walaupun begitu, analisis yang telah dilakukan baru dapat menghasilkan perkiraan distribusi sapi dalam jangka waktu yang panjang. Untuk itu, diperlukan adanya penelitian lebih lanjut mengenai metode yang paling optimal dari simulasi yang telah dilakukan, baik dari segi biaya maupun dari banyaknya sapi yang mungkin diperoleh.

REFERENSI

[1] A. F. Pertiwi dan M. S. Soenarno, "Persepsi Masyarakat Desa Situgede Kota Bogor terhadap Daging Sapi Beku Impor dan Daging Sapi Segar Lokal," *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat Juli*, vol. 2, no. 5, hlm. 850–859, Jul 2020.

[2] A. R. S. Pakpahan, "Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Impor Daging Sapi di Indonesia," *Economics Development Analysis Journal*, vol. 1, no. 2, Agu 2012, doi: https://doi.org/10.15294/edaj.v1i2.471.

[3] S. N. Azzura, "Tak laku di pasaran, daging sapi impor banyak lemak," *merdeka.com*, 10 Juni 2016. https://www.merdeka.com/uang/tak-laku-di-pasaran-daging-sapi-impor-banyak-lemak.html (diakses 22 Mei 2023).

[4] Y. A. Uly, "Ini Alasan Indonesia Terus Impor Daging Sapi Meski Populasinya Banyak," *KOMPAS.com*, 22 Maret 2021. https://money.kompas.com/read/2021/03/22/142243826/ini-alasan-indonesia-terus-impor-daging-sapi-meski-populasinya-banyak?page=all (diakses 22 Mei 2023).

[5] Desika, "Ternyata Ini Beda Daging Sapi Lokal dan Impor," *Chatnews Indonesia*, 29 November 2022. https://chatnews.id/read/ternyata-ini-beda-daging-sapi-lokal-dan-impor (diakses 22 Mei 2023).

[6] D. Bayu, "Impor Daging Sapi Indonesia Catat Rekor pada 2021," *DataIndonesia.id*, 18 Mei 2021. https://dataindonesia.id/sektor-riil/detail/impor-daging-sapi-indonesia-catat-rekor-pada-2021 (diakses 22 Mei 2023).

[7] "Impor Daging Sejenis Lembu Menurut Negara Asal Utama, 2017-2021," *Badan Pusat Statistik*, 5 Agustus 2022. https://www.bps.go.id/statictable/2019/02/14/2011/impor-daging-sejenis-lembu-menurut-negara-asal-utama-2017-2021.html (diakses 22 Mei 2023).

[8] L. Gunawan, "Analisa Perbandingan Kualitas Fisik Daging Sapi Impor dan Daging Sapi Lokal," *Jurnal Hospitality dan Manajemen Jasa*, vol. 1, no. 1, 2013, Diakses: 16 Mei 2023. [Daring]. Tersedia pada: https://publication.petra.ac.id/index.php/manajemen-perhotelan/article/view/207

[9] M. A. Lingga, "Daging Impor Lebih Diminati Masyarakat, Apa Sebabnya?," 17 Mei 2019. https://money.kompas.com/read/2019/05/17/195916726/daging-impor-lebih-diminati-masyarakat-apa-sebabnya (diakses 22 Mei 2023).

[10] W. S. Embu, "Bos Dharma Jaya beberkan penyebab daging sapi lokal kalah bersaing dari impor," *merdeka.com*, 16 Oktober 2017. https://www.merdeka.com/uang/bos-dharma-jaya-beberkan-penyebab-daging-sapi-lokal-kalah-dari-Impor.html (diakses 22 Mei 2023).

[11] R. Widiati, "Developing Beef Cattle Industry at Smallholders to Support Beef Self-Sufficiency," *Indonesian Bulletin of Animal and Veterinary Sciences*, vol. 24, no. 4, Feb 2015, doi: 10.14334/wartazoa.v24i4.1090.

[12] H. Kusuma, "Mendag Beberkan Penyebab Harga Daging Sapi Mulai Naik," *detikfinance*, 16 April 2021. https://finance.detik.com/berita-ekonomi-bisnis/d-5535312/mendag-beberkan-penyebab-harga-daging-sapi-mulai-naik (diakses 22 Mei 2023).

[13] D. Sutrisno, "Pedagang Lokal Merasa Terancam Daging Impor Banjiri Pasar," *Replubika Online*, 28 April 2017. https://ekonomi.republika.co.id/berita/op4361382/pedagang-lokal-merasa-terancam-daging-impor-banjiri-pasar (diakses 22 Mei 2023).

[14] E. Ariningsih, "Kinerja Kebijakan Swasembada Daging Sapi Nasional," 2014. Diakses: 22 Mei 2023. [Daring]. Tersedia pada: https://media.neliti.com/media/publications/61294-none-042a51aa.pdf

[15] Ika, "Upaya Pembibitan Sapi Perlu Diperkuat," *Universitas Gadjah Mada*, 27 April 2016. https://www.ugm.ac.id/id/berita/11564-upaya-pembibitan-sapi-perlu-diperkuat (diakses 22 Mei 2023).

[16] E. Romjali, "Local Beef Cattle Breeding Program in Indonesia," *Indonesian Bulletin of Animal and Veterinary Sciences*, vol. 28, no. 4, hlm. 190–210, Nov 2018, doi: 10.14334/wartazoa.v28i4.1813.

[17] H. Anton dan C. Rorres, *Elementary Linear Algebra: Applications Version, 11th Edition*, 11th ed. 2013. doi: 10.1201/b17671-9.

[18] W. G. Thiriata, W. P. Casallas, dan O. G. Hurtado, "Some Applications Of Linear Algebra To Genetics," *Journal of Language and Linguistic Studies*, vol. 18, no. 4, hlm. 1143–1149, 2022, Diakses: 16 Juni 2023. [Daring]. Tersedia pada: http://jlls.org/index.php/jlls/article/view/5037

[19] Nurmia, M. Abdy, dan S. Side, "Penerapan Diagonalisasi Matriks untuk Menyelidiki Pewarisan Genotip pada Generasi ke-n dalam Genetika," 2017. Diakses: 16 Juni 2023. [Daring]. Tersedia pada: http://eprints.unm.ac.id/id/eprint/6951

[20] D. Aziz, M. N. Syanur, Amanto, dan L. Zakaria, "An analysis of genotype inheritance in a trihybrid cross by applying a diagonalization of the matrix method," *Desimal: Jurnal Matematika*, vol. 5, no. 3, hlm. 305–314, 2022, doi: 10.24042/djm.

[21] S. J. Leon, *Linear Algebra with Applications*, 9 ed. Pearson, 2014.

[22] D. Y. Sari, I. M. Rohmah, dan H. Kartika, "Pengaplikasian Nilai Eigen Dalam Kehidupan Sehari-Hari." Diakses: 26 Mei 2023. [Daring]. Tersedia pada: https://www.academia.edu/30461808/PENGAPLIKASIAN_NILAI_EIGEN_DALAM_KEHIDUPAN_SEHARI_HARI

[23] E. R. B. Anamuli, A. LR. Detha, dan D. A. Wuri, "Pengaruh Faktor Pengistirahatan Ternak Sebelum Pemotongan Terhadap Kualitas Daging Sapi di Rumah Potong Hewan Oeba Berdasarkan Nilai PH dan Daya Ikat Air," vol. 1, no. 1, hlm. 21–33, Sep 2016, [Daring]. Tersedia pada: http://ejurnal.undana.ac.id/index.php/JVN

[24] R. Priyanto, A. M. Fuah, E. L. Aditia, M. Baihaqi, dan M. Ismail, "Peningkatan Produksi dan Kualitas Daging Sapi Lokal Melalui Penggemukan Berbasis Serealia pada Taraf Energi yang Berbeda," *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, vol. 20, no. 2, hlm. 108–114, Agu 2015, doi: 10.18343/jipi.20.2.108.
[25] N. P. Kurniawan, D. Septinova, dan K. Adhianto, "Kualitas Fisik Daging Sapi dari Tempat Pemotongan Hewan di Bandar Lampung," *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*, vol. 2, no. 3, 2014, doi: 10.23960/jipt.v2i3.p%25p.
[26] A. M. Dewi, I. B. N. Swacita, dan N. K. Suwiti, "Pengaruh Perbedaan Jenis Otot Dan Lama Penyimpanan Terhadap Nilai Nutrisi Daging Sapi Bali," *Buletin Veteriner Udayana*, vol. 8, no. 2, hlm. 135–144, Agu 2016.
[27] D. A. Prehatini, S. W. Lestari, dan D. Triasih, "Pengaruh Metode Thawing Terhadap Kualitas Fisik dan Kimia Daging Sapi Beku," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Peternakan Tropis*, vol. 7, no. 1, hlm. 42–46, Jan 2020, doi: 10.33772/jitro.v7i1.8547.
[28] D. Cahyasari, A. Husni, Liman, dan A. Qisthon, "Perbandingan Kualitas Kimia Daging Sapi Brahman Cross dari Feedloter dan Peternakan Rakyat di Wilayah Lampung," *Jurnal Riset dan Inovasi Peternakan*, vol. 6, no. 2, hlm. 181–187, Mar 2022, doi: 10.23960//jrip.2022.6.2.181-187.
[29] K. K. Agustina, I. M. R. D. Cahya, G. M. Widyantara, I. B. N. Swacita, A. A. G. O. Dharmayudha, dan M. D. Rudyanto, "Nilai Gizi dan Kualitas Fisik Daging Sapi Bali berdasarkan Jenis Kelamin dan Umur," *Buletin Veteriner Udayana*, vol. 9, no. 2, hlm. 156–163, Agu 2017, doi: 10.21531/bulvet.2017.9.2.156.
[30] R. Fester Kratz dan D. Rae Siegfried, *Biology For Dummies*, 2 ed. Wiley Publishing, Inc., 2010. [Daring]. Tersedia pada: www.dummies.com/cheatsheet/biology