

2. LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang akan digunakan dalam penulisan skripsi dan pembuatan aplikasi.

2.1.1. Ayam Petelur

Ayam petelur merupakan ayam yang dipelihara khusus untuk diambil telurnya. Ayam asli Indonesia secara umum berasal dari ayam hutan dan itik liar, yang ditangkap dan dipelihara untuk diambil telurnya (Cahyono, 1995). Ayam jenis petelur merupakan hasil rekayasa genetik yang telah didomestikasikan sebagai ayam petelur maupun ayam pedaging. Perbaikan-perbaikan genetik terus dilakukan untuk mencapai performa ayam petelur yang lebih optimal dari sebelumnya, sehingga dapat memproduksi telur dalam jumlah yang banyak dengan kualitas yang bagus. Ayam petelur yang baik akan dapat mulai memproduksi telur dengan optimal pada umur 24-26 minggu (Fadilah dan fatkhuroji, 2013). Namun, untuk menghasilkan ayam dan telur yang optimal, ayam harus dipelihara dengan baik dengan cara nutrisinya dipenuhi sejak ayam baru menetas hingga saat ayam diafkir. Berikut ini urutan fase pertumbuhan pada ayam petelur:

a. DOC (Day-Old Chick)

Day-Old Chick atau yang biasa disebut dengan *DOC*, adalah tahap pertama dalam pertumbuhan ayam, ketika anak ayam baru saja menetas dan berusia kurang dari 24 jam. Pada tahap ini, anak ayam masih sangat mudah sakit maupun mati dan membutuhkan lingkungan yang hangat dan bersih. Biasanya, para peternak menggunakan inkubator atau pemanas untuk menjaga suhu optimal dan memastikan ayam tetap sehat. Anak ayam juga memerlukan pakan ayam dengan jenis yang khusus untuk tahap awal pertumbuhan ayam, yaitu pakan yang mengandung protein yang tinggi untuk pertumbuhan badan dan kenaikan berat secara cepat.

b. Starter

Fase *starter* adalah tahap pertumbuhan ayam setelah *DOC (Day-Old Chick)*. Pada fase ini, ayam akan berusia hingga sekitar 3 minggu. Pada fase ini, anak ayam akan tumbuh lebih besar dan aktif sehingga membutuhkan kandang yang lebih besar. Pemenuhan nutrisi pada ayam fase sangatlah penting karena pada fase ini,

dengan fokus pada protein dan vitamin harus terpenuhi untuk pertumbuhan tulang dan otot. Para peternak harus memastikan bahwa kandang harus selalu bersih, dengan aliran udara yang cukup dan suhu yang tetap terkontrol, untuk mencegah penyakit dan memastikan pertumbuhan yang optimal.

c. Grower

Fase *grower* berlangsung pada ayam yang berusia sekitar 4 minggu hingga 10-12 minggu, tergantung pada jenis ayam dan jenis peternakan (daging atau telur). Pada fase ini, ayam mulai tumbuh dengan cepat, dan kebutuhan nutrisinya sedikit berubah, dengan penurunan kandungan protein dibandingkan fase *starter*. Ayam juga membutuhkan lebih banyak ruang dan aktivitas untuk menghindari stres dan meningkatkan kesehatan. Oleh karena itu, biasanya peternak mulai memindahkan ayam fase ini dari kandang penetasan ke kandang later. Selain pemenuhan kebutuhan nutrisi, yang harus diperhatikan adalah pemberian vaksinasi sanitasi, karena ayam sangatlah rentan terhadap penyakit yang disebabkan oleh kebersihan kandang dan virus dari luar.

d. Pre-layer

Fase *pre-layer* adalah masa transisi sebelum ayam petelur mulai bertelur, biasanya ayam berusia 12 hingga 18-20 minggu. Pada fase ini, ayam *pre-layer* mempersiapkan diri untuk bertelur, dan kebutuhan nutrisinya mulai berubah lagi. Pakan ayam yang diberikan harus mengandung kalsium yang tinggi dan mineral lainnya untuk mendukung pembentukan cangkang telur. Peternak perlu memastikan ayam memiliki cukup tempat untuk ayam bertelur.

e. Layer

Fase *layer* adalah fase ketika ayam mulai bertelur, biasanya ayam sudah berusia 18-20 minggu dan berlanjut hingga sekitar 72 minggu atau lebih. Pada fase ini, ayam membutuhkan kandang khusus dengan tempat bertelur yang memadai. Nutrisi sangat penting untuk menjaga kesehatan dan produksi telur yang baik. Pakan harus kaya akan kalsium dan protein untuk mendukung produksi telur yang konsisten. Para peternak harus lebih memperhatikan pencahayaan, suhu, dan sanitasi sangat penting untuk memastikan kualitas telur yang bagus dan produksi telur yang optimal.

f. Finisher

Fase *finisher* atau yang sering disebut juga dengan masa afkir adalah tahap akhir dari siklus hidup ayam *layer*, ketika produksi telur mulai menurun secara signifikan atau ayam sudah tidak efisien lagi dalam menghasilkan telur. Ayam afkir biasanya dipanen untuk daging atau 23 produk lain. Dalam beberapa kasus, ayam afkir dapat dijual ke pasar ayam tua untuk pengolahan tertentu. Peternak perlu memastikan bahwa ayam yang mencapai tahap ini diperlakukan dengan baik dan dipanen secara benar dan sesuai prosedur.

2.1.2. Pakan Ayam

Bahan makanan ternak atau bahan pakan (*feedstuff*) merupakan segala sesuatu yang dapat dimakan, dapat dicerna sebagian atau seluruhnya sehingga dapat diserap untuk kelangsungan hidup ternak. Bahan makanan ternak harus memenuhi kebutuhan hidup ternak (*maintenance*) dan produksinya (*productivity*), tanpa mengganggu kesehatan ternak, serta bermanfaat bagi ternak. Di perusahaan pakan, campuran bahan hasil formulasi disebut pakan jadi (*finished good*). Ransum (*ration*) adalah pakan yang diberikan pada ternak selama 24 jam tanpa memperhatikan baik kuantitas maupun kualitasnya. Ransum serasi (*balanced ratio*) adalah ransum baik jumlah dan kandungan nutrisinya sesuai dengan tujuan pemeliharannya (Utomo et al., 2020).

Bahan-bahan makanan yang digunakan dalam formulasi pakan ayam untuk ayam petelur pada berbagai fase pertumbuhan, seperti *Starter*, *Grower*, *Developer*, *Pre-layer*, dan *Layer*, memiliki peran yang penting dalam mendukung kesehatan dan produktivitas ayam (Rajesh et al., 2015). Pabrik juga mengeluarkan pakan ayam untuk setiap fase pertumbuhan pada ayam, seperti:

a. Starter

Ransum *starter* adalah pakan yang dirancang khusus untuk anak ayam petelur pada tahap awal kehidupan, biasanya dari usia 0 hingga 3 minggu. Ransum ini memiliki kandungan protein yang tinggi (sekitar 18-20%) untuk mendukung pertumbuhan cepat pada masa awal. Selain itu, pakan ayam starter juga mengandung vitamin dan mineral penting untuk memastikan perkembangan yang sehat dan mencegah masalah kesehatan umum pada anak ayam.

b. Grower

Ransum *grower* diberikan kepada ayam petelur pada tahap pertumbuhan selanjutnya, umumnya dari usia 3 hingga 10-12 minggu. Pada fase ini, ayam mulai berkembang lebih lambat dibandingkan tahap starter, sehingga kandungan protein dalam pakan ayam grower sedikit lebih rendah, sekitar 16-18%. Selain protein, pakan ayam grower juga mengandung sumber energi yang cukup dan berbagai vitamin dan mineral untuk mendukung pertumbuhan tulang, otot, dan bulu yang sehat.

c. Developer

Ransum *developer* biasanya digunakan untuk ayam petelur muda yang sedang berkembang, membantu transisi dari tahap grower ke pre-layer. Pakan ini memiliki kandungan nutrisi yang seimbang untuk mendukung pertumbuhan tulang, otot, dan sistem reproduksi sebelum ayam memasuki fase bertelur. Kandungan protein dan kalsium pada pakan ayam developer umumnya disesuaikan untuk mempersiapkan ayam menghadapi produksi telur di masa depan.

d. Pre-layer

Ransum *pre-layer* adalah pakan untuk ayam petelur pada masa transisi sebelum mulai bertelur, biasanya dari usia 10-12 minggu hingga 18-20 minggu. Pada tahap ini, ayam membutuhkan nutrisi untuk persiapan produksi telur, termasuk kalsium dan fosfor untuk pengembangan sistem reproduksi dan pembentukan cangkang telur yang kuat. Ransum *pre-layer* juga mengandung protein yang cukup untuk menjaga kesehatan dan mendukung pertumbuhan optimal.

e. Layer

Ransum *layer* adalah pakan yang dirancang untuk ayam petelur yang sudah memasuki masa bertelur, biasanya dari usia 18-20 minggu hingga akhir masa produktif mereka, sekitar 72 minggu atau lebih. Ransum ini memiliki kandungan kalsium yang tinggi (sekitar 4%) untuk mendukung pembentukan cangkang telur, serta protein sekitar 16-18% untuk produksi telur yang konsisten. Ransum *layer* juga mengandung berbagai vitamin dan mineral yang dibutuhkan untuk kesehatan dan kinerja ayam petelur.

f. Finisher

Ransum *finisher* adalah pakan yang diberikan kepada ayam petelur yang akan diakhiri masa produktifnya atau sebelum dipanen untuk daging. Ransum ini umumnya

diberikan pada akhir siklus produksi telur, membantu ayam menambah berat badan dan 25 meningkatkan kualitas daging. Kandungan protein dalam pakan ayam finisher biasanya lebih rendah daripada pakan ayam *layer*, dengan fokus pada energi dan karbohidrat untuk menambah bobot badan (Kartadisastra, 1994).

Pada umumnya, ada 3 bentuk pakan dapat dihasilkan oleh bahan-bahan makanan, yaitu *mash* (tepung), *pellet*, dan *crumble* (butiran). Bentuk pakan ini dipengaruhi oleh bahan-bahan apa saja yang digunakan dalam pembuatan formula pakan tersebut (Sumiati, Maskur, & Sari., 2023). Dalam proses pembuatan formula pakan ayam atau pakan ayam, ada lebih dari 100 bahan yang bisa kita campurkan untuk proses pembuatannya. Bahan-bahan yang sering digunakan dalam pemenuhan pakan ayam adalah:

- a. Jagung (*corn*) adalah salah satu bahan makanan utama yang digunakan dalam ransum pakan ayam. Jagung kaya akan karbohidrat yang menyediakan energi untuk pertumbuhan dan aktivitas ayam
- b. Padi (*rice*) merupakan salah satu bahan makanan yang memiliki kandungan energi yang sangat tinggi. Namun kandungan protein yang dikandung oleh padi lebih rendah jika dibandingkan jagung.
- c. Gandum (*wheat*) merupakan bahan makanan yang umum dikonsumsi oleh berbagai macam hewan ternak. Kandungan energi yang dikandung oleh gandum hampir sama dengan jagung namun kandungan proteinnya lebih tinggi dari pada jagung (Widodo, 2017).
- d. *Corn gluten feed* merupakan hasil samping proses penggilingan jagung yang dicampur dengan air sisa proses rendaman. *Corn gluten feed* memiliki kandungan protein kasar yang cukup tinggi sehingga sangat baik untuk diberikan kepada ayam
- e. Kacang kedelai (*soybean*) adalah pakan yang memiliki protein nabati paling tinggi. Selain protein yang tinggi, kacang kedelai juga mengandung asam amino seperti *lysine* dan *tryptophan* yang tinggi juga (Alimon et al., 2020).
- f. Bungkil kedelai adalah bahan pakan ayam yang terbuat dari ekstraksi minyak kedelai yang digunakan sebagai sumber protein nabati yang sangat penting untuk pertumbuhan dan perkembangan ayam
- g. *Pollard* adalah salah satu bahan yang berasal dari penggilingan gandum (luar biji gandum). *Pollard* ini mengandung serat, vitamin, dan mineral yang digunakan untuk membantu pencernaan ayam

- h. Vitamin dan mineral (*premix*) adalah komponen nutrisi yang esensial (boleh dipakai, boleh tidak). Bahan-bahan ini diperlukan dalam jumlah yang kecil namun memiliki peran yang sangat penting dalam proses metabolisme tubuh, pertumbuhan, dan kesehatan ayam (Mulyantini et al., 2023)
- i. *Meat and bone meal (MBM)* adalah limbah hasil samping pabrik produksi daging sapi atau babi. Bahan ini memiliki tinggi akan kandungan protein hewani, namun harganya juga cenderung mahal.
- j. *Feed additive*, seperti *Biofos* dan *Aking*, tidak hanya bertujuan untuk menjaga kualitas pakan ayam tetapi juga untuk mengatasi masalah spesifik, seperti kendali populasi lalat (Sarno dan Hastuti, 2007).
- k. Antibiotik dikenal sebagai suatu zat yang dibuat dan dihasilkan oleh organisme hidup, yang dapat menghalangi atau merusak kehidupan organisme, khususnya yang patogen. Untuk menghindari kemungkinan tersebut, peternak perlu memperhatikan *withdrawal-time* yaitu periode penggunaan bahan-bahan yang mengandung antibiotik (Widodo 2017).

Bahan-bahan diatas hanya sebagian contoh dari bahan yang dapat digunakan dalam proses pembuatan pakan ayam. Dalam proses pengelolaan pakan, pemilihan dan pengujian kualitas bahan baku untuk membuat formulasi yang disesuaikan dengan kebutuhan protein pada setiap fase pertumbuhan menjadi fokus utama, yang dapat meningkatkan produktivitas telur secara optimal dan kualitas dan kesehatan pada ayam petelur. Penggunaan bahan pakan juga berpengaruh pada kotoran ayam, umumnya kotoran ayam broiler lebih mengandung banyak amonia dibandingkan ayam petelur karena ayam *broiler* lebih membutuhkan zat-zat kimia yang lebih banyak dibandingkan ayam petelur (Guntoro, 2018).

2.1.3. Dataset

Dataset yang akan digunakan adalah bahan-bahan makanan ayam yang berupa tabel. Selain itu, terdapat juga berbagai macam *kandungan* nutrisi dan juga harga setiap bahannya. *Dataset* terdiri dari lebih dari 100 bahan makanan yang bisa digunakan menjadi bahan dasar dalam pembuatan pakan ayam. Kandungan nutrisi yang terdapat di bahan-bahan tersebut terdiri dari:

- a. DM (Dry Matter)

Dry Matter (Bahan Kering) adalah total bahan pakan yang tersisa setelah seluruh kandungan air dihilangkan. Ini adalah ukuran penting 27 untuk memahami komposisi

nutrisi yang asli dalam pakan. Pakan dengan kandungan bahan kering yang lebih tinggi biasanya mengandung lebih banyak energi dan nutrisi per kilogram berat.

b. M.E. (Metabolizable Energy)

Metabolizable Energy adalah jumlah energi yang dapat dimanfaatkan oleh ayam setelah dikurangi energi yang hilang dalam feses, urine, dan gas. *M.E.* sangat penting dalam menentukan kebutuhan energi harian ayam untuk pertumbuhan, produksi telur, dan aktivitas lainnya.

c. Crude Protein

Crude Protein adalah jumlah total protein dalam pakan, termasuk semua sumber protein. Protein adalah salah satu komponen utama dalam ransum ayam. Ayam membutuhkan asupan protein untuk membentuk otot dan jaringan tubuh lainnya. Protein memiliki peran penting dalam pertumbuhan ayam (Mulyantini et al., 2023).

d. True Protein

True Protein adalah bagian dari *Crude Protein* yang terdiri dari protein murni, tanpa termasuk senyawa nitrogen lainnya yang tidak digunakan untuk sintesis protein. *True Protein* memberikan gambaran yang lebih akurat tentang kandungan protein efektif dalam pakan.

e. E.E. (Ether Extract)

Ether Extract adalah jumlah lemak total dalam pakan. Lemak menyediakan energi dan asam lemak esensial yang diperlukan untuk kesehatan kulit dan bulu, serta fungsi metabolik lainnya. Lemak merupakan sumber energi yang lebih banyak dari protein per gram nya. Lemak juga membantu penyerapan vitamin yang larut dalam lemak, seperti vitamin A, D, E, dan K (Mulyantini et al., 2023).

f. C.F. (Crude Fiber)

Crude Fiber adalah serat kasar dalam pakan yang terdiri dari *selulosa*, *hemiselulosa*, dan *lignin*. Serat merupakan komponen dalam ransum yang dapat mempengaruhi pencernaan dan efisiensi pakan. Meskipun ayam tidak memerlukan serat dalam jumlah besar, serat dalam jumlah sedang dapat menjaga kesehatan seluruh pencernaan ayam (Mulyantini et al., 2023).

g. Ca (Kalsium)

Kalsium adalah mineral penting untuk pembentukan tulang dan cangkang telur. Kadar kalsium yang cukup sangat penting untuk ayam petelur untuk memastikan cangkang telur yang kuat, pertumbuhan tulang, dan pengaturan fungsi otot (Mulyantini et al., 2023).

h. Total P (Total Phosphorus)

Total Phosphorus adalah jumlah total fosfor dalam pakan, termasuk bentuk yang mungkin tidak dapat dimanfaatkan oleh ayam. Fosfor merupakan mineral penting dalam ransum ayam yang berfungsi untuk pembentukan tulang dan proses metabolisme tubuh (Mulyantini et al., 2023).

i. Avail. P (Available Phosphorus)

Available Phosphorus adalah jumlah fosfor dalam pakan yang dapat diserap dan digunakan oleh ayam. Ini adalah indikator penting untuk menentukan ketersediaan fosfor bagi pertumbuhan dan kesehatan ayam.

j. Ca:P (Calcium to Phosphorus ratio)

Rasio *Calcium to Phosphorus* adalah perbandingan antara kalsium dan fosfor dalam pakan. Rasio yang seimbang sangat penting untuk kesehatan tulang dan metabolisme. Rasio yang tidak seimbang dapat menyebabkan masalah tulang dan produksi telur yang buruk.

k. Natrium (Sodium)

Sodium (*Natrium*) adalah mineral penting untuk keseimbangan elektrolit dan fungsi saraf. Sodium juga berperan dalam regulasi tekanan darah dan hidrasi.

l. Cl (Chloride)

Chloride adalah komponen dari garam dan membantu menjaga keseimbangan elektrolit serta pH dalam tubuh ayam. Ini juga berperan dalam produksi asam lambung untuk pencernaan yang baik.

m. Choline

Choline adalah vitamin yang penting untuk metabolisme lemak, sintesis seluler, dan fungsi hati. *Choline* juga berperan dalam pertumbuhan dan pengembangan ayam.

n. Folate (Vitamin B)

Folate atau asam folat adalah vitamin B yang diperlukan untuk produksi sel darah dan pertumbuhan sel yang sehat. Kekurangan folat dapat menyebabkan pertumbuhan terhambat dan masalah kesehatan lainnya.

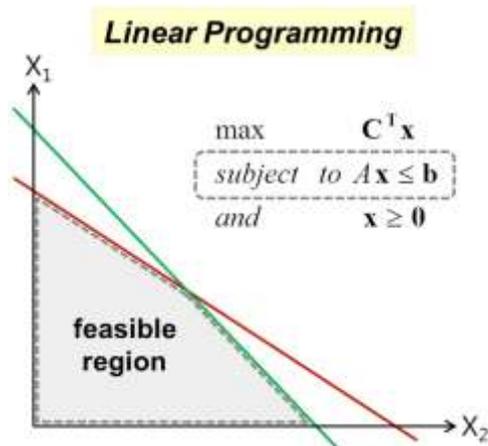
l. dLYS, dMET, dTSAA, dTHR, dTRP, dARG, dan dVAL

dLYS (Lysine), *dMET (Methionine)*, *dTSAA (Total Sulfur Amino Acids)*, *dTHR (Threonine)*, *dTRP (Tryptophan)*, *dARG (Arginine)*, dan *dVAL (Valine)* adalah asam amino esensial yang diperlukan untuk pertumbuhan dan kesehatan ayam. Asam amino esensial tidak dapat diproduksi oleh tubuh ayam dan harus diperoleh dari pakan. Masing-masing asam amino memiliki fungsi tertentu dalam pertumbuhan otot, produksi protein, dan berbagai fungsi biologis lainnya.

Nantinya kandungan nutrisi dari bahan-bahan tersebut akan digunakan untuk membandingkan nutrisi yang harus dipenuhi dalam dataset yang berisi jenis-jenis pakan ayam serta nutrisi didalamnya (Chamba et al., 2007).

2.1.4. Linear Programming

Linear Programming adalah suatu metode atau teknik optimasi matematis yang digunakan untuk mencari nilai terbaik (maksimum atau minimum) dari suatu fungsi linear dalam konteks batasan linear. Dalam istilah matematika, *Linear Programming* adalah alat untuk mengoptimalkan (meminimalkan atau memaksimalkan) fungsi linear dari serangkaian variabel keputusan sambil mematuhi beberapa kendala permasalahan (Briend et al., 2003). Dengan *Linear programming*, masalah diungkapkan melalui suatu fungsi tujuan yang ingin dioptimalkan, dan serangkaian batasan yang dinyatakan dalam bentuk persamaan atau ketidaksetaraan linear. Tujuan utama dari *Linear Programming* adalah menemukan nilai variabel keputusan yang memenuhi semua batasan dan pada saat yang sama mengoptimalkan nilai fungsi tujuan (Dantzig, 2002).



Gambar 2.1. Metode Linear Programming

Sumber: Pullen et al., (2012) Automated Ionospheric Front Velocity Estimation Algorithm for Ground-Based Augmentation Systems

Dengan menggunakan Linear Programming dalam menangani masalah kompleks, seperti formulasi pakan dengan berbagai bahan baku dan kontribusi nutrisi yang berbeda, *Linear Programming* menjadi metode yang sangat efektif dalam memberikan solusi terstruktur untuk meningkatkan efisiensi formulasi pakan ayam secara keseluruhan (Mallick et al., 2020).

Formulasi model *Linear Programming (LP)* melibatkan proses perhitungan melalui langkah-langkah berikut:

1. Pembentukan persamaan dari metode *Linear Programming* melibatkan identifikasi variabel-variabel yang terkait dalam menghitung persamaan yang nantinya digunakan dalam program optimasi pakan ayam. Variabel-variabel ini dipergunakan untuk mempermudah perhitungan menggunakan rumus-rumus yang tersedia. Berikut adalah variable-variabel yang terkait (Samuel et al., 2015):
 - a. Nutrisi Bahan Pakan (i): komponen nutrisi dari bahan pakan, dengan $i = 1, 2, 3, \dots, m$.
 - b. Bahan Pakan (j): jumlah bahan pakan, dengan $j = 1, 2, 3, \dots, n$.
 - c. Variabel Keputusan (X_j): Jumlah bahan pakan ke- j dalam campuran pakan, yang menjadi variabel yang diatur untuk optimalkan formulasi.
 - d. Total Pakan yang Diproduksi (X_t): Jumlah total pakan yang akan diproduksi dalam kilogram, merupakan variabel tergantung pada permintaan.

- e. Total Biaya Bahan Pakan (Z): Biaya total bahan pakan yang digunakan dalam formulasi pakan, yang akan dioptimalkan.
 - f. Biaya Satuan Bahan Pakan (C_j): Biaya per satuan untuk bahan pakan ke- j , dalam rupiah.
 - g. Jumlah Nutrisi yang Tersedia (a_{ij}): Jumlah nutrisi i yang tersedia dalam bahan pakan ke- j .
 - h. Kebutuhan Nutrisi untuk ayam petelur(Bi): Kebutuhan nutrisi i untuk ayam, sebagai panduan dalam memastikan kecukupan gizi dalam formulasi pakan ayam.
2. Rumus dalam menghitung persamaan dalam metode *Linear Programming* terbagi menjadi 4 langkah, yaitu:
- a. Fungsi tujuan atau *objective function* dalam *Linear Programming* ini adalah untuk meminimalkan total biaya campuran pakan, dan dikenai berbagai batasan. Fungsi tujuan tersebut dirumuskan dengan tujuan mencapai solusi optimal yang meminimalkan biaya secara keseluruhan. Batasan-batasan yang dikenakan pada fungsi tujuan ini mencerminkan pembatasan-pembatasan yang harus dipatuhi dalam konteks permasalahan optimasi.

$$\text{Minimize } Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j \tag{2.1}$$

- b. *Demand requirements* adalah indikasi dari jumlah total campuran pakan yang dibutuhkan berdasarkan kebutuhan ayam petelur pada berbagai tahap pertumbuhan sesuai dengan usia ayam.

$$X_t = \sum_{j=1}^n X_j \tag{2.2}$$

- c. *Minimum requirement* berfungsi untuk membatasi jumlah nutrisi pakan tertentu (a_i) hingga kebutuhan minimum ayam untuk nutrisi tersebut. Ini merupakan batas bawah dari deviasi jumlah nutrisi selama proses optimasi.

$$a_{ij} \sum_{j=1}^n X_j \geq Bi \tag{2.3}$$

- d. *Maximum requirement* berfungsi untuk membatasi jumlah nutrisi pakan tertentu (a_i) hingga kebutuhan maksimum ayam untuk nutrisi tersebut. Ini

merupakan batas atas dari deviasi jumlah nutrisi selama proses optimasi (Mallick et al., 2020).

$$a_{ij} \sum_{j=1}^n X_j \leq B_i \quad (2.4)$$

- e. *Non-negativity constraints* berfungsi untuk memastikan bahwa dalam proses optimasi, tidak ada nilai optimal yang jatuh ke dalam rentang negatif (Samuel et al., 2020).

$$X_j \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.5)$$

2.1.5. Python

Bahasa pemrograman *Python*, yang sangat populer saat ini, pertama kali ditemukan oleh Guido van Rossum di Stichting Mathematisch Centrum (*CWI*), Amsterdam pada tahun 1991 (Awangga et al., 2019). *Python* bahasa pemrograman yang menggunakan interpreter untuk menjalankan kode programnya, selain itu *Python* juga sangat fleksibel dan memiliki banyak kegunaan, baik untuk pemula maupun pengembang berpengalaman. Jadi bisa dikatakan bahwa, *Python* adalah salah satu bahasa pemrograman terbaik untuk pembuatan *AI* maupun *machine learning* (Runimeirati et al., 2023). Selain itu, *Python* juga digunakan secara luas oleh para peneliti karena kemampuannya dalam menangani data besar dan perhitungan matematika yang kompleks (Rahman et al., 2021).

Library yang paling terkenal dalam *Python* adalah *NumPy*. *NumPy* adalah sebuah pustaka (*library*) *Python* yang dikembangkan secara komunitas dan *open-source*, yang menyediakan objek *array* multidimensi di *Python* beserta fungsi-fungsi yang peka terhadap *array* untuk mengoperasikan objek tersebut. *NumPy* memainkan peran penting dalam hampir setiap pustaka *Python* yang melakukan komputasi ilmiah atau numerik, seperti *SciPy*, *Matplotlib*, *pandas*, *scikit-learn*, dan *scikit-image* (Harris et al. 2020).

2.1.6. Front-end

Penggunaan *HTML*, *CSS*, dan *JavaScript* menjadi fondasi utama dalam pengembangan *front end*. *HTML* digunakan untuk menentukan struktur dasar halaman *website*, menyediakan kerangka yang diperlukan untuk menempatkan elemen-elemen lainnya secara terstruktur. *CSS* kemudian digunakan untuk mendesain tata letak dan tampilan halaman *website*, memungkinkan

pengembang untuk mengatur penampilan visual dari elemen-elemen *HTML* tersebut. Selain itu, *JavaScript* menjadi kunci dalam memberikan fungsionalitas dinamis pada antarmuka pengguna, seperti validasi *form*, efek animasi, dan interaksi langsung dengan pengguna. Dalam konteks pembuatan tugas akhir ini, *React* dipilih sebagai *framework* yang akan digunakan. *React*, dikembangkan oleh *Meta*, adalah sebuah *library JavaScript* yang sangat populer dalam memfasilitasi pembuatan antarmuka pengguna yang efisien dan dinamis. Dengan pendekatan komponen berbasis *UI*, *React* memungkinkan pengembang untuk membagi antarmuka pengguna menjadi komponen-komponen yang terpisah, memudahkan dalam pengelolaan dan pemeliharaan kode. Penggunaan *JSX (JavaScript XML)* dalam *React* juga memungkinkan penulisan sintaksis *HTML* di dalam *JavaScript*, meningkatkan keterbacaan dan produktivitas pengembangan.

Selain itu, konsep *Virtual DOM (Document Object Model)* yang digunakan oleh *React* membantu meningkatkan kinerja aplikasi dengan cara meminimalkan pembaruan langsung pada *DOM*. *React* juga memanfaatkan konsep *state* dan *props* untuk manajemen data, serta memperkenalkan *hooks* yang memungkinkan penggunaan fungsi dalam komponen fungsi, menggabungkan kekuatan paradigma fungsional dan objek dalam pengembangan antarmuka pengguna. Secara teknis, *React* memanfaatkan berbagai teknologi dan konsep seperti *reactivity*, *rendering* yang efisien, dan *reconciler* untuk mengelola perubahan *state* dan memastikan *update* yang efisien pada tampilan aplikasi. Dengan demikian, penggunaan *React* sebagai *framework* dalam pembuatan tugas akhir ini diharapkan dapat mempermudah proses pengembangan dan menghasilkan antarmuka pengguna yang responsif, interaktif, dan mudah dipelihara.

2.1.6.1. React

React adalah salah satu *library javascript* yang bersifat *open-source*. *Framework* ini dikembangkan oleh Facebook pada tahun 2011. *React* ini sendiri bukan merupakan *framework* murni karena masih membutuhkan beberapa pendukung namun masih bisa dibilang seperti *framework* karena memiliki fitur unggulan.

React memiliki sejumlah fitur unggulan yang menjadikannya pilihan populer di kalangan pengembang. Pertama, *JSX (JavaScript XML)* memungkinkan modifikasi *DOM (Document Object Model)* menggunakan kode *HTML*, memberikan kemudahan dalam penanganan elemen-elemen antarmuka pengguna. Kedua, aliran data satu arah (*single way data flow*) memudahkan pelacakan dan penanganan perubahan data, yang meningkatkan stabilitas aplikasi. Ketiga, *Virtual DOM* yang efisien hanya merender ulang

bagian yang berubah, sehingga meningkatkan performa. *React* juga mendukung *reusable components*, yang memungkinkan penggunaan ulang komponen tanpa menulis ulang kode, serta memiliki komunitas besar yang menyediakan banyak sumber daya bantuan. Selain itu, *React* menawarkan rendering cepat dan stabil, cocok untuk menangani aplikasi dengan lalu lintas tinggi dan dapat digunakan untuk pengembangan aplikasi *mobile* melalui *React Native*. Namun, *React* juga memiliki beberapa kekurangan, seperti dokumentasi yang sering berubah karena sifatnya yang *open-source* dan kurangnya dukungan untuk browser versi lama seperti *Internet Explorer* (Prasetyo et al., 2022).

2.1.6.2. Tailwind CSS

Tailwind CSS adalah sebuah *framework CSS* yang memungkinkan pengembang *website* untuk merancang antarmuka pengguna secara cepat dan efisien. Dengan pendekatan *utility-first*, *Tailwind* menyediakan kumpulan kelas-kelas *CSS* yang dapat digunakan langsung dalam markup *HTML*, tanpa perlu menulis *CSS* khusus (Fikriansyah et al., 2024). Hal ini mempercepat proses pengembangan dan memungkinkan perancangan yang konsisten dengan menggunakan kelas-kelas bawaan *Tailwind*. Penggunaan *Tailwind* dapat membuat kode *HTML* menjadi lebih deskriptif dan mudah dipelihara, karena setiap kelas *CSS* menggambarkan satu properti gaya tertentu. *Framework* ini juga memfasilitasi penggunaan pemisahan tugas antara pengembang *front-end* dan desainer, karena desainer dapat dengan mudah menambahkan atau mengubah gaya menggunakan kelas-kelas yang telah ditentukan.

2.1.6.3. Material Tailwind

Material Tailwind adalah salah satu *extension* atau *plugin* untuk *Tailwind CSS* yang memungkinkan pengembang untuk dengan mudah mengimplementasikan desain yang sesuai dengan panduan *Material Design* dari *Google* (Koudelka, 2023). *Material Tailwind* menyediakan kelas-kelas *CSS* yang sesuai dengan komponen-komponen *Material Design*, seperti tombol, kartu, formulir, ikon, dan lain-lain. Dengan menggunakan *Material Tailwind*, pengembang dapat dengan cepat dan konsisten menerapkan desain yang sesuai dengan panduan *Material Design* tanpa harus menulis *CSS* tambahan atau membuat komponen-komponen dari awal. Salah satu keunggulan *Material Tailwind* adalah integrasinya yang mulus dengan *Tailwind CSS*. Pengembang dapat dengan mudah menggabungkan kelas-kelas *Material Tailwind* dengan kelas-kelas

bawaan *Tailwind* untuk menciptakan antarmuka pengguna yang menarik dan sesuai dengan panduan desain yang sudah mapan.

2.1.7. Back-end

Back-end adalah bagian dari suatu sistem perangkat lunak atau aplikasi yang bertanggung jawab atas pemrosesan data, logika bisnis, dan fungsionalitas yang tidak langsung terlihat oleh pengguna. Ini mencakup *server*, *database*, dan berbagai komponen lain yang bekerja untuk mengelola, menyimpan, dan mengolah informasi. *Server* berfungsi sebagai pusat pengolahan yang menerima permintaan dari *front-end* atau aplikasi klien, menjalankan logika bisnis, dan memberikan respons yang sesuai. Di sisi lain, *database* berperan penting dalam menyimpan data yang diperlukan oleh aplikasi, baik dalam bentuk struktur terstruktur maupun tidak terstruktur, sehingga memungkinkan aplikasi untuk mengakses dan mengelola informasi dengan efisien. *Back-end* mengatasi berbagai tugas, termasuk pengelolaan *database*, autentikasi pengguna, manajemen sesi, dan penyediaan *API (Application Programming Interface)* untuk berkomunikasi dengan *front-end* atau aplikasi klien. *Back-end* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

2.1.7.1. Node.js

Node.js adalah *runtime JavaScript* yang dibangun di atas mesin *JavaScript V8* dari *Google Chrome*. Ini memungkinkan pengembang untuk menulis kode *JavaScript* di sisi server, yang sebelumnya lebih umum digunakan hanya di sisi user (*browser*). *Node.js* memungkinkan pengembang untuk membuat aplikasi *server-side* yang efisien dan *scalable* menggunakan *JavaScript* (Syed, 2014). Salah satu keunggulan utama *Node.js* adalah *non-blocking I/O (Input/Output)*, yang membuatnya sangat cocok untuk mengelola aplikasi real-time yang membutuhkan banyak koneksi bersamaan. Ini berarti *Node.js* dapat menangani banyak permintaan dari user secara efisien tanpa harus memblokir eksekusi kode. *Node.js* juga memiliki repositori paket yang besar, yaitu *npm (Node Package Manager)*, yang menyediakan ribuan paket dan modul yang dapat digunakan untuk memperluas fungsionalitas *Node.js*.

2.1.7.2. Express

Express adalah kerangka kerja *website* yang minimalis dan fleksibel untuk *Node.js*. Dibandingkan dengan *Node.js* yang murni, *Express* menyediakan layer abstraksi yang lebih tinggi, yang membuatnya lebih mudah untuk mengatur dan mengelola

aplikasi *website* (Mardan, 2014). *Express* memungkinkan pengembang untuk menangani berbagai tugas *website* seperti *routing*, pengelolaan permintaan dan respon, penanganan permintaan *HTTPS*, dan banyak lagi dengan cara yang terstruktur dan mudah dimengerti. Salah satu keunggulan *Express* adalah kesederhanaannya yang memungkinkan pengembang untuk membangun aplikasi *website* dengan cepat dan efisien. Selain itu, *Express* juga sangat fleksibel, memungkinkan pengembang untuk membangun aplikasi web dengan gaya dan struktur yang mereka inginkan. *Express* juga memiliki banyak *middleware* yang tersedia, yang memungkinkan pengembang untuk menambahkan fungsionalitas tambahan ke aplikasi mereka dengan mudah.

2.1.7.3. MySQL

Database yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *MySQL*. *MySQL* merupakan sistem manajemen basis data relasional (*RDBMS*) *open-source* yang sering digunakan dalam pengembangan perangkat lunak. Dikembangkan oleh *Oracle*, *MySQL* menggunakan bahasa kueri *SQL* untuk mengelola dan menyimpan data. Ini merupakan pilihan umum untuk berbagai aplikasi, terutama di lingkungan *website* (Letkowski, 2015). Keunggulan *MySQL* termasuk kecepatan, keandalan, dan kemudahan penggunaan. Dengan mendukung fitur-fitur seperti transaksi, indeks, dan manajemen hak akses, *MySQL* memungkinkan pengembang untuk menyimpan dan mengambil data dengan efisien.

2.2. Tinjauan Studi

Bagian ini membahas tentang tinjauan studi penelitian – penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan skripsi ini.

2.2.1. Use of multicriteria AHP (Analytical Hierarchy Process) method to rank feeding solutions, tested on layers, while observing environmental protection (Arama et al., 2015).

Penelitian yang berjudul “*Use of multicriteria AHP (Analytical Hierarchy Process) method to rank feeding solutions, tested on layers, while observing environmental protection*” ditulis oleh V. Criste, Tatiana Dumitra Panaite, Alina Banciu, Gabriela Vasile, Rodica Diana Criste, dan Madalina Arama, yang melakukan pengujian terhadap 160 ayam petelur yang berjenis *TETRA SL* pada usia 56 minggu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)* berdasarkan kinerja produksi,

kualitas telur, biaya, dan dampak lingkungan, dalam mengevaluasi efisiensi formulasi pakan komposit yang mencakup sisa industri makanan untuk ayam petelur.

Pertama, kinerja produksi dievaluasi melalui beberapa percobaan, dengan parameter pengujian yaitu persentase penetasan, berat rata-rata telur, dan persentase penetasan. Parameter bertujuan untuk melihat seberapa baik formulasi pakan mendukung produksi telur yang optimal. Selain kinerja produksi, biaya juga dievaluasi dengan mempertimbangkan biaya per kilogram pakan dari masing-masing formulasi. Yang terakhir adalah dampak lingkungan, hal ini dievaluasi dengan memperhatikan indikator fisik-kimia dan mikrobiologis pada lingkungan.

Jadi percobaan ini dilakukan dengan menggunakan 160 ayam petelur *TETRA SL* yang berusia 56 minggu. Percobaan berlangsung selama 5 minggu dan terbagi menjadi lima kelompok, yaitu kelompok kontrol (C) dan empat kelompok eksperimental (E1, E2, E3, dan E4). Ayam-ayam ini ditempatkan dalam kandang khusus dengan tiga tingkat (2 ayam per kandang). Ayam-ayam tersebut dicatat berdasarkan konsumsi pakan dan kotorannya setiap harinya. Kondisi iklimat dalam ruang percobaan diatur pada suhu $19.27 \pm 1.63^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban $65 \pm 6.38\%$. Tingkat pencahayaan disesuaikan dengan usia eksploitasi ayam petelur, dengan 8 jam gelap dan 16 jam cahaya. Setiap kelompok ayam menerima formulasi pakan yang berbeda dengan komposisi dasar yang sama. Sejumlah parameter bioproduksi, seperti rata-rata konsumsi pakan harian, rasio konversi pakan ayam, persentase penetasan telur ayam, dan berat telur rata-rata tersebut akan dipantau selama periode percobaan. Selain itu, sampel kotoran akan diambil dari setiap kandang untuk analisis mikrobiologis dan kimia.

Metode AHP (Analytical Hierarchy Process) digunakan dalam penelitian ini sebagai metode analisis untuk memilih formulasi pakan terbaik berdasarkan kriteria kinerja produksi, biaya, dan dampak lingkungan. Metode *AHP* membantu dalam membuat keputusan yang kompleks dengan mengatasi berbagai hasil percobaan dan faktor yang harus dipertimbangkan. Dalam penelitian ini, metode *AHP* digunakan untuk evaluator dan menentukan bobot relatif dari setiap kriteria yang dievaluasi. Selanjutnya, metode *AHP* digunakan untuk menilai formulasi pakan berdasarkan hierarki yang telah ditetapkan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa formulasi pakan yang menggunakan rapeseed meal dan grape seed meal (E1) memiliki kinerja yang paling baik dalam hal kinerja produksi, biaya, dan dampak lingkungan dibandingkan dengan formulasi lainnya. Formulasi E1 menunjukkan

rasio konversi pakan terendah, persentase penetasan tertinggi, dan berat telur rata-rata yang mendekati tertinggi. Meskipun biaya formulasi E1 cukup tinggi, dampak lingkungan yang ditimbulkannya lebih rendah dibandingkan dengan kelompok kontrol. Jadi kesimpulan dari penelitian ini adalah penggunaan metode AHP memungkinkan pengambilan keputusan yang efisien terkait dengan formulasi pakan terbaik untuk ayam petelur, dengan mempertimbangkan berbagai kriteria penting seperti kinerja produksi, biaya, dan dampak lingkungan.

2.2.2. Effect of feed form, formulation, and restriction on the performance of laying hens (Scott et al., 1998).

Penelitian yang berjudul "*Effect of feed form, formulation, and restriction on the performance of laying hens*" ditulis oleh T. A. Scott, F. G. Silversides, D. Tietge, dan M. L. Swift, yang melakukan pengujian terhadap 1440 ayam *DeKalb*[®] yang dimasukkan ke dalam kandang pada usia 18 minggu untuk menguji pengaruh efek bentuk pakan ayam dengan jenis formulasi berdasarkan kandungan protein kasar dan asam amino. Percobaan ini dilakukan sebanyak lima kali percobaan dengan tingkat pembatasan pakan yang diterapkan pada usia 24 minggu atau 32 minggu. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Formulasi pakan ayam:
 - *Crude Protein (CP)*: Formulasi pakan ayam yang mementingkan kandungan total protein yang tinggi, baik crude protein maupun true protein.
 - *Asam Amino (AA)*: Formulasi pakan ayam yang lebih mementingkan kebutuhan spesifik asam amino daripada total protein, yang dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pakan.
- b. Bentuk pakan ayam:
 - *Expanded Pellets*: Pakan ayam yang berbentuk pelet atau seperti biji-bijian keras yang diproses dengan cara teknik pelleting untuk memperbaiki tekstur dan konsistensi pakan ayam.
 - *Mash*: Pakan ayam yang berbentuk seperti tepung atau campuran partikel kasar.
- c. Tingkat pembatasan pakan:

Ada beberapa percobaan dalam tingkat pembatasan pakan, dari 85% sampai 100% dari konsumsi pakan ayam, untuk mengetahui apakah pembatasan jumlah pakan ayam yang diberikan mempengaruhi produksi dan kualitas telur serta kinerja dan kesehatan ayam.

d. Periode pembatasan pakan:

Pembatasan dalam pemberian pakan ayam akan dilakukan sebelum dan setelah puncak produksi. Hal ini bertujuan untuk melihat pengaruh waktu terhadap penerapan pembatasan terhadap pertumbuhan ayam dan produksi telur.

Tujuan dari penelitian yang dilakukan oleh T. A. Scott, F. G. Silversides, D. Tietge, dan M. L. Swift adalah:

- a. Apakah ada perbedaan dalam produksi telur, konsumsi pakan, efisiensi pakan, berat telur, dan kualitas telur antara ayam yang diberi pakan dengan formulasi *CP* dan *AA*
- b. Apakah bentuk pakan (*mash* dan *expanded pellets*) mempengaruhi konsumsi pakan, efisiensi pakan, berat badan, dan kualitas telur?
- c. Bagaimana berbagai tingkat pembatasan pakan mempengaruhi produksi telur, berat telur, efisiensi pakan, dan berat badan?
- d. Apakah periode penerapan pembatasan pakan sebelum atau setelah puncak produksi memiliki pengaruh berbeda terhadap pertumbuhan, produksi telur, dan kualitas telur?

Setelah melakukan berbagai macam percobaan yang dilakukan, penelitian ini mengevaluasi pengaruh variasi dalam formulasi pakan, bentuk pakan, dan tingkat pembatasan pakan terhadap kinerja ayam petelur dalam periode pembatasan pakan. Ayam yang diberi pakan ayam dengan kandungan Asam Amino (*AA*) yang tinggi, menunjukkan bahwa produksi telur yang lebih baik dan lebih stabil dibandingkan dengan pakan ayam yang memiliki kadar *Crude Protein (CP)* yang tinggi. Meskipun berat telur dan kualitas cangkang tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara 2 pakan ayam tersebut, namun kandungan protein telur dan kualitas albumen cenderung lebih baik pada pakan ayam yang memiliki kadar *Crude Protein (CP)* yang tinggi.

Selain percobaan pada kandungan yang berada di dalam pakan ayam, pengaruh bentuk pakan juga menghasilkan perbedaan yang signifikan seperti, ayam yang diberi pakan ayam dalam

bentuk *expanded pellets*, akan mengonsumsi lebih banyak pakan dibandingkan dengan bentuk *mash*, sehingga berat badan ayam yang mengonsumsi pakan ayam dalam bentuk *expanded pellets* memiliki berat yang lebih unggul. *Expanded pellets* juga membantu dalam meningkatkan konsistensi konsumsi pakan dan kinerja produksi.

2.2.3. Feed formulation using phytase in laying hen diets (Silversides and Hruby, 2009)

Penelitian yang berjudul "*Feed formulation using phytase in laying hen diets*" ditulis oleh F. G. Silversides dan M. Hruby, yang melakukan pengujian terhadap *Lohmann LSL-Lite* dan *Lohmann Classic Brown* yang dibesarkan dan dimasukkan ke kandang di Agassiz Research Centre. Pada usia 30 minggu, ayam-ayam ini diberi salah satu dari lima diet yang sesuai dengan rekomendasi nutrisi dari *Lohmann*. Ayam-ayam tersebut dikontrol dan diberikan diet-diet yang mengandung 300 atau 600 U/kg fitase. *Fitase* mengandung *Phosphorus (P)*, *calcium(Ca)*, *methabolic energy*, dan *crude protein*. Pada usia 45 minggu, formula pakan diet-diet ini diubah mengikuti program pemberian pakan bertahap, namun perlakuan diet tetap dengan metode yang sama.

Penelitian ini memiliki beberapa parameter percobaan yaitu berat badan ayam petelur diukur pada waktu yang berbeda selama periode percobaan, kemudian ayam tersebut diberikan konsumsi pakan diukur selama periode tertentu, dan efisiensi pakan dihitung sebagai jumlah pakan yang diperlukan untuk menghasilkan satu gram telur. Tujuan dari penelitian ini adalah apakah diet yang berbeda memiliki pengaruh pada produksi dan kualitas telur, seperti tinggi albumen, berat telur, berat kerangka telur, dan berat kuning telur.

Setelah melakukan berbagai macam percobaan dengan berbagai parameter yang diujikan, penelitian ini memiliki beberapa hasil yang akurat, yaitu:

- Penambahan *Fitase* pada formulasi diet pakan ayam yang memiliki kandungan rendah fosfor membantu dalam meningkatkan ketersediaan fosfor dari fitat, mengurangi kelebihan fosfor dalam kotoran ayam, sehingga mengurangi dampak lingkungan dari kotoran ayam tersebut.
- Penggunaan *Fitase* pada ayam petelur tidak hanya meningkatkan ketersediaan fosfor, tetapi juga menghasilkan pelepasan nutrisi lain seperti energi dan protein dari bahan pakan ayam.
- Pertumbuhan dan produksi telur pada ayam yang diberikan *Fitase* pada pakan ayam menjadi tidak memiliki kekurangan kandungan fosfor di dalamnya. Namun

hal ini tidak memberikan efek yang terlalu signifikan terhadap perlakuan diet untuk pertumbuhan, produksi telur, atau kualitas telur.

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *fitase* dalam pakan ayam petelur dapat memberikan manfaat dalam meningkatkan ketersediaan nutrisi, mengurangi kelebihan fosfor dalam kotoran, dan mengurangi ketergantungan pada bahan pakan mahal seperti protein tinggi dan sumber energi lainnya.