Jurnal Penelitian Inovatif (JUPIN)
Vol. 6, No. 2, Mei 2026, Hal. 2051-2064
https://jurnal-id.com/index.php/jupin
DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2941
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

Evaluasi Ketahanan Biaya Tiga Komposisi Pakan Sapi Perah terhadap Variasi Harga Hijauan dan Konsentrat Menggunakan *Minimax Regret*

Rosa Andriani[1]*
[1]Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Terbuka, Indonesia
Email: rosa.andriani@ecampus.ut.ac.id

Abstrak

Perubahan harga hijauan dan konsentrat dapat menggeser pilihan komposisi pakan dengan biaya terendah. Penelitian ini mengukur ketahanan biaya tiga komposisi tetap, yaitu komposisi acuan, kandidat *Firefly Algorithm* (FA), dan kandidat *grid search*, menggunakan data survei 24 usaha sapi perah di Pujon Kidul, Kabupaten Malang. Biaya setiap komposisi dimodelkan sebagai fungsi linear dua harga, kemudian dievaluasi melalui ambang rasio harga dan kriteria *minimax regret* pada 21 pasangan harga teramati serta dua himpunan harga berbentuk kotak. Rerata biaya pakan terlapor sebesar Rp27.000/ekor/hari, sedangkan valuasi dua bahan dari 23 catatan lengkap mencapai Rp53.328,26/ekor/hari; korelasi biaya terlapor dengan produksi susu sensitif terhadap pengeluaran satu catatan produksi nol. *Grid search* menjadi pilihan termurah pada 17 dari 21 pasangan harga, sedangkan FA pada empat pasangan. *Regret* maksimum *grid search* hanya Rp220/ekor/hari pada ketiga himpunan, lebih rendah daripada FA yang mencapai Rp6.517–Rp7.153/ekor/hari pada himpunan utama. Ambang rasio harga konsentrat terhadap hijauan sebesar 3,7893 dan 4,1038 menandai pergantian komposisi termurah. Analisis ambang harga menunjukkan kapan keputusan biaya perlu ditinjau kembali, sedangkan minimax regret mengukur tambahan biaya jika satu komposisi dipertahankan pada berbagai kondisi harga. Temuan terbatas pada evaluasi ekonomi tiga komposisi dan belum membuktikan kelayakan nutrisi.

Kata kunci: biaya pakan, hijauan, minimax regret, optimasi, sapi perah, variasi harga

Abstract

Joint movements in forage and concentrate prices can alter which fixed dairy-feed composition has the lowest cost. This study evaluates the economic robustness of three predetermined compositions—a reference composition, a Firefly Algorithm (FA) candidate, and a grid-search candidate—using survey records from 24 dairy farms in Pujon Kidul, Malang, Indonesia. Each candidate's two-ingredient cost is expressed as a linear function of prices. Switching thresholds and minimax regret are then assessed for 21 observed price pairs and two rectangular price sets. Average reported feed expenditure was IDR 27,000 per cow per day, whereas the average valuation of two ingredients for 23 complete records was IDR 53,328.26; the association between reported expenditure and milk yield was sensitive to the exclusion of one zero-yield observation. Grid search was the least-cost candidate in 17 of the 21 observed price pairs, while FA was preferred in four. Its maximum regret was IDR 220 per cow per day across all three price sets, compared with IDR 6,517–7,153 for FA in the principal price sets. Price-ratio thresholds of 3.7893 and 4.1038 identified changes in the least-cost choice. The thresholds indicate when a fixed decision warrants reconsideration, while minimax regret measures the additional cost of retaining that decision across price conditions. The findings concern a limited economic comparison; nutritional feasibility is not established.

Keywords: concentrate, dairy cattle, feed costs, forage, minimax regret, price uncertainty

1. PENDAHULUAN

Pakan merupakan komponen pengeluaran penting dalam usaha sapi perah. Akan tetapi, biaya yang dicatat peternak tidak selalu sebanding secara langsung. Pengeluaran pembelian konsentrat dapat dicatat sebagai transaksi tunai, sedangkan hijauan dari lahan sendiri mungkin dinilai berdasarkan harga yang diperkirakan peternak. Perbedaan dasar pencatatan ini dapat menghasilkan dua angka biaya untuk usaha yang sama. Di samping itu, alternatif yang murah pada satu kombinasi harga belum tentu tetap murah ketika harga hijauan dan konsentrat bergerak bersama.

Penelitian formulasi pakan umumnya membangun komposisi yang meminimalkan biaya atau memaksimalkan hasil ekonomi dengan kendala nutrisi. Li et al. (2022) membandingkan pendekatan nonlinear untuk menyusun ransum berbiaya rendah, sedangkan Campos et al. (2023) menghubungkan formulasi individual dengan pendapatan susu setelah biaya pakan. Aplikasi FeedMaster dan OPTIMILK

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2941
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

menunjukkan bagaimana formulasi berbasis harga dan nutrisi dapat diterapkan melalui perangkat lunak (Kabir et al., 2022; Mijić et al., 2024). Pada konteks Indonesia, Risyahadi (2022) memanfaatkan pemrograman linear untuk menentukan komposisi bahan konsentrat. Kajian-kajian tersebut terutama menilai komposisi yang diperoleh untuk kendala dan parameter harga yang dimasukkan ke dalam model.

Pengaruh perubahan harga terhadap keputusan formulasi telah dibahas dari beberapa sudut pandang. Alqaisi dan Schlecht (2021) menguji penyusunan ransum pada variasi harga dan ketersediaan bahan melalui simulasi multiperiode, sedangkan OPTIMILK menyediakan optimasi komposisi berbiaya minimum untuk masukan tertentu (Mijić et al., 2024). Kılınç Yılmaz et al. (2024) menunjukkan relevansi prakiraan harga bahan pakan bagi perencanaan usaha sapi perah. Penelitian lain memperhitungkan ketidakpastian nutrisi dan biaya dengan pemrograman fuzzy (Mohammad et al., 2025), serta kompromi beragam sasaran dalam optimasi pakan (Usigbe et al., 2025). Pendekatan-pendekatan tersebut terutama menjelaskan penyusunan atau penyesuaian komposisi ketika masukan berubah. Masalah yang menjadi fokus penelitian ini berbeda: ketika komposisi yang telah dipilih harus dipertahankan, seberapa besar biaya tambahan yang mungkin timbul akibat perubahan harga dua bahan secara bersamaan?

Perbedaan tersebut menjadi titik berangkat penelitian ini. Pada usaha kecil, pergantian komposisi tidak selalu dapat dilakukan setiap kali harga berubah karena persediaan, kebiasaan pemberian pakan, dan keterbatasan bahan. Dengan tiga kandidat kuantitas yang telah tersedia, perbandingan biaya pada harga rata-rata saja tidak menunjukkan kondisi saat pilihan termurah berganti atau kerugian tambahan dari keputusan yang dipertahankan. *Minimax regret* menawarkan ukuran kerugian relatif terhadap kandidat termurah pada setiap kondisi harga, yang berbeda dari upaya meminimalkan biaya maksimum (Bertsimas & Sim, 2004; Kouvelis & Yu, 1997).

Penelitian ini bertujuan (1) menentukan ambang rasio harga konsentrat terhadap hijauan yang mengubah urutan biaya tiga komposisi tetap; (2) membandingkan *regret* maksimum komposisi acuan, FA, dan *grid search* pada 21 pasangan harga survei; serta (3) menguji apakah keputusan yang sama bertahan pada dua rentang harga dua dimensi. Selain itu, dua definisi biaya dari survei dipisahkan agar hasil perbandingan ekonomi tidak ditafsirkan sebagai penghematan aktual atau sebagai bukti kecukupan ransum.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Data survei dan unit pengamatan

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus kuantitatif dengan data survei potong lintang yang dikumpulkan pada Agustus 2025 di Desa Pujon Kidul, Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Lokasi dipilih secara sengaja karena kegiatan peternakan sapi perah yang berkembang di wilayah tersebut dan relevansinya dengan persoalan biaya pakan. Praktik penggunaan hijauan dan konsentrat pada usaha yang disurvei menjadi dasar untuk mengevaluasi bagaimana perubahan harga kedua bahan memengaruhi biaya tiga komposisi pakan yang telah ditetapkan.

Survei melibatkan 24 peternak sapi perah yang dipilih secara purposif. Kriteria responden ialah memiliki sapi perah dalam masa laktasi dan berperan langsung dalam menentukan atau mengatur pemberian pakan. Satu responden mewakili satu usaha peternakan, sehingga unit pengamatan adalah usaha, bukan masing-masing sapi. Informasi yang dicatat meliputi karakteristik usaha, jumlah sapi, produksi susu per ekor per hari, jenis serta jumlah pakan, harga bahan, dan biaya pakan harian yang dilaporkan. Pemilihan ini sesuai untuk studi kasus ekonomi, tetapi bukan pengambilan sampel probabilitas.

Data dikumpulkan melalui kuesioner terstruktur. Bagian B menanyakan rata-rata produksi susu per ekor per hari, sedangkan Bagian C meminta kuantitas jerami padi, konsentrat, silase, ampas tahu, dan bahan lainnya dalam kg/ekor/hari. Tabel pada Bagian D meminta harga masing-masing bahan dalam Rp/kg dan sumber pembelian (pasar, toko, atau petani). Pada Bagian F, responden diminta menjawab pertanyaan "Seberapa besar biaya pakan harian (rata-rata) per ekor sapi?". Angka ini dicatat dalam Rp/ekor/hari sebagai biaya terlapor. Valuasi parsial dua bahan dihitung terpisah dengan mengalikan kuantitas dan harga hijauan/jerami serta konsentrat pada usaha yang sama. Karena kuesioner tidak

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2941
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

meminta rincian pengeluaran tunai untuk setiap bahan maupun nilai ekonomi hijauan dari lahan sendiri, keduanya tidak dapat dipisahkan secara terukur dari jawaban biaya terlapor. Kutipan butir instrumen dan perlakuan datanya diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pemetaan Butir Kuesioner dan Perlakuan Variabel Penelitian

Sumber instrumen	Informasi yang dikumpulkan	Perlakuan dalam analisis
Bagian B, butir 3	"Rata-rata produksi susu per ekor per hari: ... liter"	Variabel produksi susu; pengamatan 0 tetap masuk analisis utama.
Bagian C, butir 4	"Jumlah total pakan yang dikonsumsi per ekor sapi per hari" (jerami padi, konsentrat, silase, ampas tahu, lainnya)	Jumlah jerami/hijauan dan konsentrat (kg/ekor/hari) menjadi input valuasi dua bahan.
Bagian D, tabel harga	"Jenis Pakan | Harga (Rp/kg) | Sumber Pembelian (Pasar/Toko/Petani)"	Harga per kg dicatat sebagai harga terlapor, tidak otomatis membuktikan nilai transaksi setiap bahan.
Bagian F, pertanyaan biaya	"Seberapa besar biaya pakan harian (rata-rata) per ekor sapi? Rp ..."	Dicatat sebagai biaya terlapor (Rp/ekor/hari), tanpa pemecahan menurut bahan.
Tidak tersedia dalam instrumen	Butir khusus pengeluaran tunai menurut bahan dan nilai hijauan panen sendiri	Tidak ditaksir terpisah; kesimpulan dibatasi pada biaya terlapor dan valuasi parsial dua bahan.

Catatan: Kutipan pada tabel mengikuti kuesioner yang digunakan dalam pengumpulan data. Instrumen tidak menanyakan pengeluaran tunai per jenis pakan atau nilai ekonomi hijauan hasil panen sendiri sebagai dua angka yang terpisah; kedua unsur itu tidak dapat disimpulkan dari satu angka biaya harian.

Pemilihan responden tidak dilakukan secara acak. Penelitian ini tidak dimaksudkan untuk mengestimasi karakteristik populasi seluruh peternak di Kecamatan Pujon ataupun Kabupaten Malang. Analisis difokuskan pada evaluasi ekonomi komposisi pakan dan ketahanannya terhadap variasi harga dalam 24 usaha yang diamati; hasilnya ditafsirkan sebagai temuan studi kasus, bukan generalisasi statistik ke wilayah lain.

Satu usaha (kode 19) mencatat silase 30 kg tetapi tidak mencatat pasangan harga dan kuantitas pada kolom hijauan/jerami yang digunakan dalam model; nilai dua bahan untuk usaha tersebut tidak dihitung. Dua responden mencatat konsentrat 0 kg dan harga konsentrat nol karena tidak membeli. Catatan tersebut tetap digunakan untuk kuantitas, tetapi tidak dimasukkan ke dalam rerata harga pembeli. Terdapat satu catatan produksi susu 0 L/ekor/hari; pengamatan ini tetap dilibatkan dalam analisis utama dan dievaluasi tersendiri melalui analisis sensitivitas. Tidak ada imputasi untuk nilai yang hilang. Tabel 2 menunjukkan jumlah observasi pada setiap analisis.

Tabel 2. Kelengkapan Data dan Dasar Perhitungan

Komponen	n	Penggunaan dalam penelitian
Unit usaha peternakan	24	Deskripsi sampel dan biaya terlapor
Hijauan/jerami: kuantitas dan harga lengkap	23	Valuasi dua bahan pada catatan berpasangan
Kuantitas konsentrat	24	Rerata penggunaan konsentrat
Harga pembelian konsentrat positif	22	Harga konsentrat acuan transaksi
Pasangan kedua harga positif dan lengkap	21	Evaluasi skenario harga teramati
Pengamatan produksi susu nol	1	Analisis sensitivitas korelasi

Keterangan: n merupakan jumlah unit usaha, bukan jumlah sapi. Pasangan harga teramati memiliki enam kombinasi unik.

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2941
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

2.2 Definisi dua ukuran biaya dan analisis statistik

Biaya terlapor, E_i, adalah angka biaya pakan harian per ekor yang disampaikan responden i. Valuasi parsial dua bahan, V_i, dihitung dari kuantitas dan harga hijauan/jerami serta konsentrat yang tercatat pada responden yang sama. Dengan $q_{h,i}$ dan $q_{k,i}$ sebagai kuantitas, serta $p_{h,i}$ dan $p_{k,i}$ sebagai harga per kilogram, berlaku:

$$V_i = q_{h,i}p_{h,i} + q_{k,i}p_{k,i}, \quad D_i = V_i - E_i \tag{1}$$

Selisih D_i hanya membandingkan dua ukuran dengan cakupan yang mungkin berbeda. Selisih ini bukan estimasi pemborosan atau penghematan karena biaya terlapor dapat mencakup bahan lain dan karena nilai hijauan yang diperoleh sendiri tidak selalu merupakan pengeluaran tunai.

Data dirangkum melalui rerata, simpangan baku sampel, median, dan rentang. Asosiasi biaya dengan produksi susu diperiksa dengan korelasi Pearson dan Spearman dua sisi. Interval kepercayaan 95% Pearson dihitung melalui transformasi Fisher, sedangkan nilai p permutasi dua sisi diperoleh dari 19.999 pengacakan menggunakan generator NumPy default_rng dengan *seed* 20261031. Untuk b pengacakan yang menghasilkan statistik setidaknya sama ekstrem dengan hasil teramati, nilai p dihitung sebagai $\frac{b+1}{20\,000}$. Pengamatan produksi nol dikeluarkan hanya pada analisis sensitivitas. Perbedaan berpasangan antara V_i dan E_i diringkas dengan uji Wilcoxon *signed-rank* dan interval bootstrap persentil 95% dari 20.000 pengambilan ulang berpasangan. Seluruh pengujian bersifat deskriptif-eksploratif, bukan pengujian pengaruh kausal.

2.3 Tiga komposisi tetap dan fungsi biaya

Tiga komposisi dinyatakan sebagai pasangan kuantitas hijauan/jerami dan konsentrat dalam kg/ekor/hari. Komposisi acuan menggunakan rata-rata hijauan dari 23 catatan dan rata-rata konsentrat dari 24 catatan, sehingga merupakan ringkasan sampel dan bukan ransum salah satu peternak. Dua komposisi lain, yang diberi label FA dan *grid search*, digunakan sebagai alternatif pembanding tetap. Kuantitas masing-masing komposisi disajikan pada Persamaan (2) dan Tabel 3.

Tabel 3. Tiga Komposisi Pakan yang Digunakan dalam Evaluasi Biaya

Alternatif komposisi	Hijauan/jerami (kg/ekor/hari)	Konsentrat (kg/ekor/hari)
Acuan (rerata marginal)	527/23 ≈ 22,9130	182/24 ≈ 7,5833
Berlabel *Firefly Algorithm*	31,30	5,37
Berlabel *grid search*	40,00	3,25

Keterangan: Komposisi acuan menggunakan rerata marginal kuantitas hijauan dan konsentrat dengan jumlah observasi berbeda. Nilai ketiga komposisi digunakan secara tetap pada seluruh pasangan harga sehingga perhitungan biaya dan *regret* dapat diperiksa dari kuantitas dan harga yang disajikan.

$$\mathbf{x}_b = (527/23,\ 182/24), \quad \mathbf{x}_f = (31{,}30,\ 5{,}37), \quad \mathbf{x}_g = (40{,}00,\ 3{,}25) \tag{2}$$

Penilaian berfokus pada biaya ketiga komposisi ketika harga kedua bahan berubah, bukan pada perbandingan kemampuan algoritma dalam mencari ransum. FA merupakan singkatan dari Firefly Algorithm, salah satu pendekatan metaheuristik (Yang, 2009), sedangkan *grid search* merupakan pencarian deterministik. Dalam analisis ini kedua nama digunakan sebagai penanda alternatif komposisi. Biaya setiap alternatif pada suatu pasangan harga dihitung dengan fungsi linear dalam Persamaan (3).

$$C_j(p_h, p_k) = q_{h,j}p_h + q_{k,j}p_k, \quad j \in \{b, f, g\} \tag{3}$$

Rerata harga hijauan pada 23 catatan adalah Rp941,304/kg. Harga konsentrat utama (skenario B) sebesar Rp4.236,364/kg, dihitung dari 22 harga pembelian positif. Sebagai pemeriksaan sensitivitas agregasi, skenario A menggunakan rerata 24 entri harga, yakni Rp3.883,333/kg. Nilai nol pada skenario A menggambarkan tidak membeli; skenario ini tidak diperlakukan sebagai taksiran harga transaksi

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2941
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

pasar. Kedua skenario mencerminkan variasi antarresponden pada satu periode, bukan perkembangan harga dari waktu ke waktu.

2.4 Himpunan variasi dua harga dan dasar batas sensitivitas

Himpunan empiris U_E memuat 21 catatan pasangan harga positif, terdiri atas enam kombinasi unik. Untuk menilai ketahanan terhadap pergerakan dua harga yang tidak harus muncul sebagai pasangan transaksi pada responden yang sama, dua himpunan berbentuk kotak juga digunakan:

$$U_1 = [250,1000] \times [4000,4400], \quad U_2 = [700,1000] \times [4000,4400] \tag{4}$$

Urutan setiap pasangan adalah harga hijauan/jerami dan konsentrat dalam Rp/kg. Batas U_1 mengikuti nilai minimum dan maksimum masing-masing harga pada 21 catatan. Batas bawah Rp700/kg pada U_2 merupakan harga hijauan terendah berikutnya setelah satu catatan Rp250/kg; dengan demikian, U_2 adalah pemeriksaan sensitivitas terhadap titik rendah tersebut, bukan kisaran harga baru yang diamati pada periode berbeda. Sudut-sudut kotak merupakan kombinasi batas komponen dan tidak semuanya harus terjadi dalam transaksi sebenarnya. Perbedaan antara 21 catatan dan enam kombinasi unik tetap dijaga saat menghitung frekuensi dan *grid search*.

2.5 *Regret* maksimum dan batas pergantian komposisi

Regret mengukur kelebihan biaya kandidat j terhadap kandidat termurah pada pasangan harga yang sama. Untuk $J = \{b, f, g\}$ dan himpunan harga U, digunakan:

$$R_j(p) = C_j(p) - \min_{\ell \in J} C_\ell(p) \tag{5}$$

$$R_j^{\max}(U) = \max_{p \in U} R_j(p) \tag{6}$$

$$j^\star = \operatorname{argmin}_{j \in J} R_j^{\max}(U) \tag{7}$$

Sebagai pembanding, aturan *minimax cost* meminimalkan $\max_{p \in U} C_j(p)$. Pada kandidat tetap, *regret* merupakan maksimum sejumlah fungsi linear harga, sehingga bersifat konveks sepotong-sepotong; maksimum pada kotak kompak dapat diperoleh pada titik sudut. Karena itu, keempat sudut setiap kotak diperiksa secara lengkap, sedangkan semua 21 catatan diperiksa langsung pada U_E.

Batas peralihan diperoleh dengan menyamakan dua fungsi biaya. Misalkan $\rho = p_k/p_h$ untuk $p_h > 0$. Kesetaraan antara komposisi acuan dan FA memberikan $\rho_{bf} = 3{,}7893$, sedangkan kesetaraan antara FA dan *grid search* memberikan $\rho_{fg} = 4{,}1038$. Kedua nilai diperoleh langsung dari perbedaan kuantitas hijauan dan konsentrat antarkomposisi.

Contoh numerik menunjukkan cara penentuan biaya dan *regret*. Pada $(p_h, p_k) = (1\,000{,}4\,000)$ Rp/kg, biaya acuan sebesar Rp53.246,38, diperoleh dari (527/23) × 1.000 + (182/24) × 4.000. Biaya FA adalah Rp52.780, diperoleh dari 31,30 × 1.000 + 5,37 × 4.000, sedangkan biaya *grid search* Rp53.000, diperoleh dari 40 × 1.000 + 3,25 × 4.000. Karena FA termurah pada pasangan tersebut, *regret grid search* adalah:

$$R_g(1000,4000) = 53\,000 - 52\,780 = 220 \tag{8}$$

Pada contoh tersebut, biaya FA adalah Rp52.780/ekor/hari, lebih rendah daripada acuan Rp53.246,38 dan *grid search* Rp53.000. Dengan demikian, *regret grid search* = Rp53.000 − Rp52.780 = Rp220/ekor/hari, sedangkan *regret* FA = Rp0. Nilai Rp220 adalah kelebihan biaya terhadap alternatif termurah pada pasangan harga itu, bukan penghematan aktual maupun biaya maksimum di seluruh pasar.

2.6 Batas interpretasi biologis

Perhitungan biaya dibatasi pada hijauan/jerami dan konsentrat. Kelayakan komposisi sebagai ransum memerlukan informasi kandungan bahan kering, protein, energi, serat, serta kebutuhan sapi sesuai tahap laktasi (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2021). Mutu hijauan yang berbeda juga dapat mengubah kandungan nutrien yang diterima ternak (Barrientos-Blanco et al.,

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2941
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

2024). Karena informasi tersebut tidak dievaluasi dalam model biaya, istilah komposisi termurah hanya mengacu pada perbandingan biaya dua bahan di antara tiga alternatif, bukan pada rekomendasi ransum yang sudah memenuhi persyaratan biologis (Mtawali et al., 2026; Usigbe et al., 2025).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

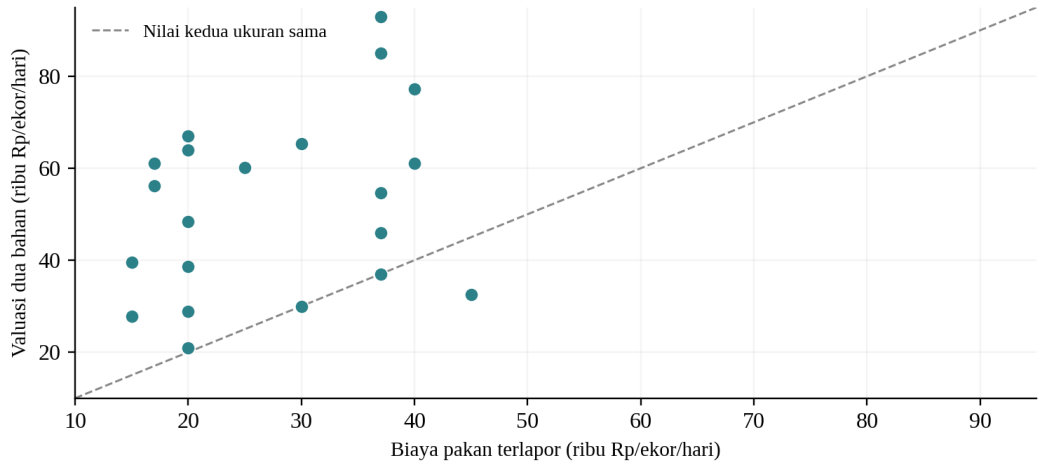
3.1 Gambaran usaha dan dua ukuran biaya

Rerata umur peternak adalah 48,08 tahun dan pengalaman usaha 24,42 tahun. Kepemilikan rata-rata 6,79 ekor dengan rentang satu hingga 22 ekor, sedangkan produksi susu tercatat rata-rata 14,00 L/ekor/hari. Penggunaan hijauan/jerami rata-rata 22,91 kg/ekor/hari dari 23 catatan lengkap dan konsentrat 7,58 kg/ekor/hari dari 24 catatan. Variasi usaha yang cukup lebar perlu dipertimbangkan ketika menafsirkan rerata sebagai ringkasan sampel (Tabel 4).

Tabel 4. Statistik Deskriptif Usaha Peternakan Sapi Perah

Variabel	n	Rerata	SD	Median	Rentang
Usia peternak (tahun)	24	48,08	12,01	51	30–75
Pengalaman beternak (tahun)	24	24,42	13,43	25	4–55
Jumlah sapi (ekor)	24	6,79	5,99	4	1–22
Bobot rata-rata sapi (kg)	24	277,08	89,66	250	150–500
Produksi susu (L/ekor/hari)	24	14,00	4,41	14,5	0–20
Hijauan/jerami (kg/ekor/hari)	23	22,91	8,15	25	10–37
Konsentrat (kg/ekor/hari)	24	7,58	4,09	7	0–16
Biaya terlapor (Rp/ekor/hari)	24	27.000	9.528	22.500	15.000–45.000
Valuasi dua bahan (Rp/ekor/hari)	23	53.328,26	19.211,61	56.200	21.000–93.000

Keterangan: SD adalah simpangan baku sampel. Valuasi dua bahan hanya dihitung bila harga dan kuantitas kedua kelompok bahan lengkap.



Gambar 1. Perbandingan Biaya Pakan Terlapor dan Valuasi Dua Bahan pada 23 Catatan Lengkap

Rerata biaya pakan yang dilaporkan mencapai Rp27.000/ekor/hari untuk 24 usaha. Pada 23 catatan yang dapat dipasangkan, rerata biaya terlapor sebesar Rp27.347,83/ekor/hari, sedangkan valuasi dua bahan mencapai Rp53.328,26/ekor/hari. Valuasi lebih tinggi pada 20 catatan, sama pada dua catatan, dan lebih rendah pada satu catatan (Gambar 1). Rerata selisih berpasangan Rp25.980,43/ekor/hari memiliki interval bootstrap persentil 95% Rp18.393,42–Rp33.308,70. Uji Wilcoxon menghasilkan $W =$

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2941
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

4,0 dan $p = 0{,}000106$. Namun, kedua ukuran tidak mempunyai cakupan yang sepenuhnya setara; karena itu hasil ini menunjukkan perbedaan pencatatan nilai ekonomi, bukan inefisiensi atau penghematan yang dapat diperoleh peternak.

3.2 Hubungan biaya pakan dan produksi susu

Pada 24 responden, biaya pakan terlapor berkorelasi positif dengan produksi susu menurut Pearson ($r = 0{,}4363$; $p = 0{,}0330$; IK 95% Fisher 0,0400–0,7140), Spearman ($\rho = 0{,}4910$; $p = 0{,}0148$), dan uji permutasi Pearson ($p = 0{,}0298$). Setelah satu pengamatan dengan produksi susu 0 L/ekor/hari dikeluarkan, korelasi Pearson turun menjadi $r = 0{,}3970$ ($p = 0{,}0607$) dan nilai p permutasi menjadi 0,0637; keduanya berada di atas 0,05. Sementara itu, Spearman masih menghasilkan $\rho = 0{,}429$ dengan $p = 0{,}0408$, di bawah 0,05 (Tabel 5). Perbedaan ini menunjukkan bahwa kekuatan bukti asosiasi sensitif terhadap pengamatan ekstrem dan ukuran korelasi yang dipakai. Hubungan tersebut tidak membuktikan bahwa peningkatan biaya menyebabkan produksi susu meningkat.

Tabel 5. Korelasi Ukuran Biaya dengan Produksi Susu

Ukuran biaya	n	Pearson r	p Pearson	Spearman ρ	p Spearman	p Permutasi
Terlapor, seluruh data	24	0,436	0,0330	0,491	0,0148	0,0298
Terlapor, susu > 0	23	0,397	0,0607	0,429	0,0408	0,0637
Valuasi dua bahan	23	−0,250	0,2490	−0,299	0,1660	0,2492
Valuasi dua bahan, susu > 0	22	−0,310	0,1605	−0,322	0,1438	0,1557

Keterangan: Uji dua sisi; nilai p permutasi Pearson dihitung melalui 19.999 pengacakan. Jumlah observasi berubah sesuai kelengkapan data dan analisis sensitivitas.

Valuasi dua bahan justru mempunyai arah korelasi negatif dengan produksi susu, tetapi tidak signifikan menurut kedua ukuran asosiasi. Perbedaan arah ini perlu ditafsirkan hati-hati karena informasi tahap laktasi, komposisi nutrien, ketersediaan pakan sendiri, dan manajemen pemeliharaan tidak tersedia. Studi mengenai pengukuran efisiensi pakan dan alokasi suplemen memperlihatkan bahwa hubungan antara biaya, jumlah pakan, dan produktivitas tidak dapat disederhanakan menjadi satu korelasi bivariabel (Atsbeha, 2025; Azubuike et al., 2025; Souza et al., 2025).

3.3 Nilai biaya pada dua asumsi harga konsentrat

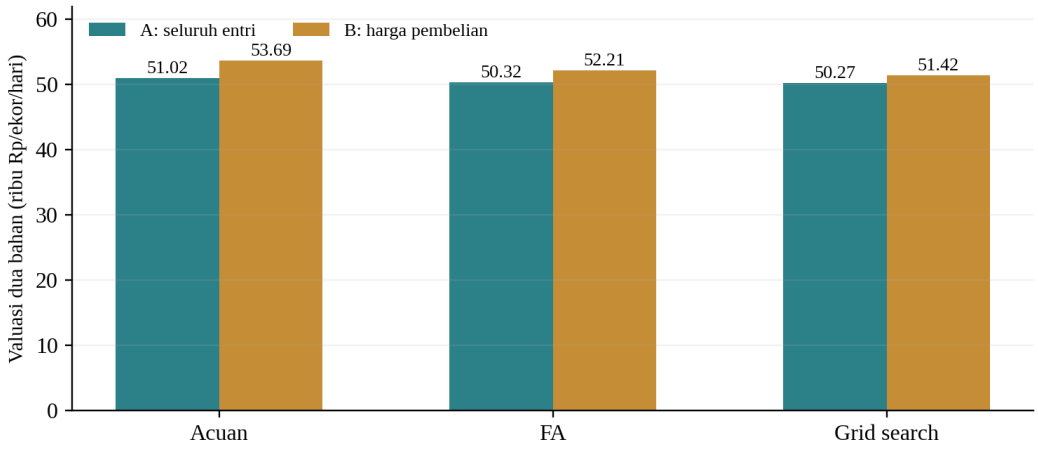
Harga pembelian positif tercatat sebanyak tujuh pengamatan Rp4.400/kg, sepuluh Rp4.200/kg, empat Rp4.100/kg, dan satu Rp4.000/kg. Skenario B memanfaatkan rerata 22 harga tersebut untuk perbandingan utama, sedangkan skenario A memperlihatkan akibat memasukkan dua nilai nol ketika konsentrat tidak dibeli. Seluruh biaya dalam Tabel 6 menggunakan satuan Rp/ekor/hari, dengan perhitungan berdasarkan harga tidak dibulatkan sebelum pelaporan.

Tabel 6. Biaya Tiga Komposisi pada Dua Asumsi Harga Konsentrat (Rp/ekor/hari)

Komposisi	Hijauan (kg)	Konsentrat (kg)	Skenario A	Skenario B
Acuan	22,9130	7,5833	51.016,76	53.693,91
FA	31,30	5,37	50.316,33	52.212,10
Grid search	40,00	3,25	50.273,01	51.420,36

Keterangan: Harga hijauan/jerami Rp941,304/kg. Harga konsentrat A Rp3.883,333/kg (rerata 24 entri, untuk sensitivitas agregasi), sedangkan B Rp4.236,364/kg (rerata 22 transaksi positif).

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2941
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

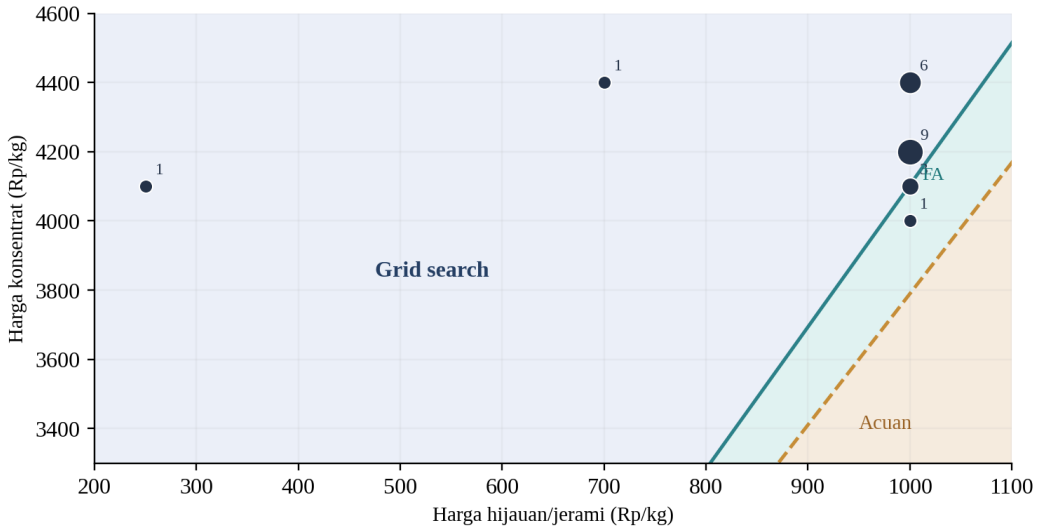


Gambar 2. Biaya Tiga Komposisi Pakan pada Skenario Harga Konsentrat A dan B

Pada kedua skenario, *grid search* berbiaya paling rendah pada harga acuan yang digunakan. Namun, selisih terhadap FA hanya Rp43,32/ekor/hari pada skenario A, dibandingkan Rp791,74/ekor/hari pada skenario B. Selisih yang bergantung pada definisi harga ini menegaskan perlunya membedakan nilai nol akibat tidak membeli dari harga transaksi. Perhitungan pada Tabel 6 tidak mewakili penghematan yang telah dialami peternak karena tidak dilakukan pemberian ketiga komposisi pada kelompok sapi yang setara.

3.4 Ambang peralihan komposisi termurah

Struktur biaya linear pada Persamaan (3) menghasilkan batas peralihan yang mudah dijelaskan melalui rasio $\rho = p_k/p_h$. Komposisi acuan paling murah untuk $\rho < 3{,}7893$; FA untuk $3{,}7893 < \rho < 4{,}1038$; dan *grid search* untuk $\rho > 4{,}1038$. Pada nilai tepat di ambang, dua kandidat mempunyai biaya sama. Perpotongan langsung acuan dan *grid search* pada rasio sekitar 3,9431 tidak menjadi batas pemenang global karena pada rentang tersebut FA lebih murah daripada keduanya.



Gambar 3. Peta Komposisi Termurah dan Frekuensi Pasangan Harga yang Teramati

Gambar 3 memperlihatkan enam posisi harga unik dari 21 catatan: satu pada (250, 4.100), satu pada (700, 4.400), satu pada (1.000, 4.000), tiga pada (1.000, 4.100), sembilan pada (1.000, 4.200), dan enam

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2941
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

pada (1.000, 4.400). FA unggul pada empat catatan dengan harga hijauan Rp1.000/kg dan konsentrat Rp4.000 atau Rp4.100/kg, sedangkan *grid search* unggul pada 17 catatan lain. Perubahan pilihan pada harga hijauan yang sama tetapi harga konsentrat sedikit berbeda menegaskan manfaat ambang rasio sebagai aturan pemeriksaan keputusan, bukan sebagai ramalan harga.

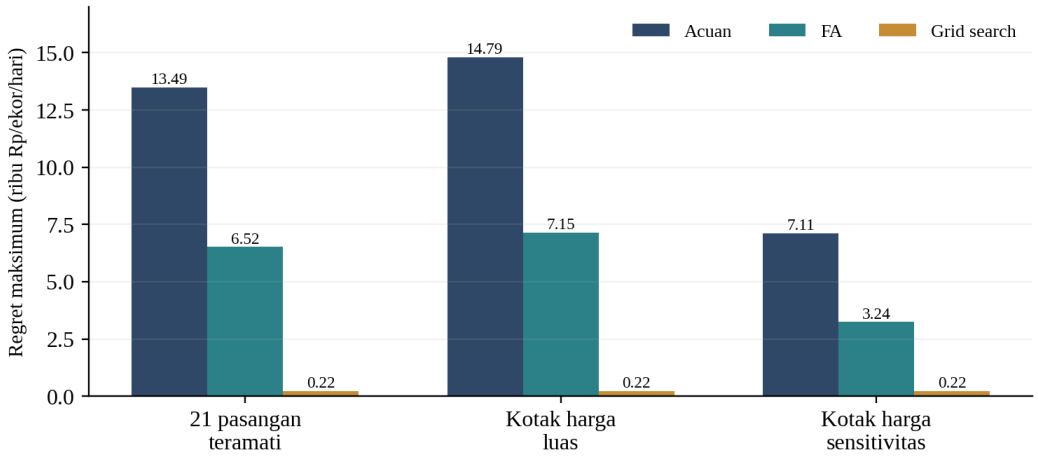
3.5 *Regret* dua harga dan pengaruh penyempitan himpunan

Penilaian *regret* membedakan komposisi yang paling sering murah dari komposisi yang menyebabkan biaya tambahan paling kecil apabila dipertahankan. Pada 21 pasangan harga teramati, *regret* maksimum *grid search* Rp220/ekor/hari, FA Rp6.517/ekor/hari, dan acuan Rp13.494,93/ekor/hari. Pada harga hijauan Rp1.000/kg dan konsentrat Rp4.000/kg, FA lebih murah Rp220 daripada *grid search*. Sebaliknya, pada harga Rp250/kg dan Rp4.100/kg, *grid search* lebih murah Rp6.517 daripada FA. Karena itu, pilihan minimax bukan kandidat yang selalu menang, melainkan kandidat dengan kerugian tambahan terburuk paling kecil.

Tabel 7. *Regret* Maksimum Tiga Komposisi pada Himpunan Harga (Rp/ekor/hari)

Himpunan harga	Jumlah skenario	Acuan	FA	*Grid search*	Pilihan minimax
21 pasangan teramati	21 catatan	13.494,93	6.517	220	*Grid search*
Kotak Rp250–1.000 × Rp4.000–4.400	4 sudut	14.794,93	7.153	220	*Grid search*
Kotak Rp700–1.000 × Rp4.000–4.400	4 sudut	7.105,80	3.238	220	*Grid search*

Keterangan: Regret dihitung terhadap kandidat termurah di antara tiga komposisi pada setiap pasangan harga. Himpunan kotak diperiksa pada keempat titik sudut masing-masing.



Gambar 4. Perbandingan *Regret* Maksimum Ketiga Komposisi pada Tiga Himpunan Harga

Tabel 7 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa penyempitan rentang harga hijauan dari Rp250–1.000/kg menjadi Rp700–1.000/kg menurunkan *regret* maksimum FA dari Rp7.153 menjadi Rp3.238/ekor/hari. Pada sudut harga (Rp250, Rp4.400)/kg, biaya FA sebesar Rp31.453 dan *grid search* Rp24.300/ekor/hari, sehingga selisihnya Rp7.153. Ketika batas bawah hijauan dinaikkan ke Rp700/kg sementara konsentrat tetap Rp4.400/kg, biaya FA menjadi Rp45.538 dan *grid search* Rp42.300; selisihnya berkurang menjadi Rp3.238. Perubahan tersebut berasal dari komposisi *grid search* yang menggunakan lebih banyak hijauan dan lebih sedikit konsentrat. *Regret* maksimum *grid search* tetap Rp220/ekor/hari pada ketiga himpunan karena pasangan harga (Rp1.000, Rp4.000)/kg, tempat FA lebih

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2941
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

murah Rp220, tetap tercakup setelah rentang dipersempit. Karena itu, *grid search* menjadi pilihan minimax *regret*, meskipun tidak selalu menjadi alternatif termurah pada setiap pasangan harga.

Tabel 8. Kombinasi Harga Teramati dan Komposisi dengan Biaya Terendah

Harga hijauan (Rp/kg)	Harga konsentrat (Rp/kg)	Frekuensi	Termurah
250	4.100	1	*Grid search*
700	4.400	1	*Grid search*
1.000	4.000	1	FA
1.000	4.100	3	FA
1.000	4.200	9	*Grid search*
1.000	4.400	6	*Grid search*

Keterangan: enam kombinasi unik mewakili 21 catatan; frekuensi bukan peluang harga masa depan.

3.6 Perbandingan dengan studi terdahulu dan implikasi keputusan

Alqaisi dan Schlecht (2021) meninjau formulasi ransum ketika harga dan ketersediaan bahan berubah pada beberapa kondisi; komposisi dapat disesuaikan kembali dengan parameter yang dihadapi. Evaluasi dalam penelitian ini mengambil keputusan sebagai sesuatu yang sudah ditetapkan: tiga komposisi dipertahankan, sedangkan kedua harga bahan berubah bersamaan. Perbedaannya tampak pada harga hijauan Rp1.000/kg dan konsentrat Rp4.000/kg, saat FA lebih murah Rp220/ekor/hari daripada *grid search*. Pada empat catatan harga, FA merupakan pilihan termurah, tetapi pada 17 catatan lainnya *grid search* lebih murah. Meskipun sesekali kalah murah, *regret* maksimum *grid search* hanya Rp220/ekor/hari dibandingkan Rp6.517/ekor/hari untuk FA pada pasangan harga survei. Temuan ini melengkapi studi pencarian komposisi berbasis harga dengan ukuran tambahan biaya yang dihadapi ketika penyesuaian komposisi tidak segera dilakukan. *Regret* dihitung relatif terhadap tiga kandidat yang diperiksa, bukan terhadap semua komposisi ransum yang mungkin.

Studi yang lebih baru semakin menekankan kendala biologis dan ukuran keberhasilan yang melampaui biaya. Campos et al. (2023), Mijić et al. (2024), dan Gong et al. (2026) menunjukkan pentingnya menghubungkan formulasi ransum dengan kebutuhan nutrisi, produksi, dan/atau emisi. Usigbe et al. (2025) membahas kompromi banyak tujuan, sementara Mohammad et al. (2025) memperlakukan ketidakpastian formulasi melalui sasaran nutrisi dan biaya yang bersifat fuzzy. Hasil di Pujon Kidul tidak bersaing dengan model tersebut dalam mencari ransum baru; kontribusinya adalah ukuran risiko biaya ketika keputusan komposisi tidak segera berubah. Sebagai alat sederhana, ambang rasio harga dan *regret* dapat dipakai untuk menandai kapan peninjauan komposisi patut dilakukan sebelum tahap evaluasi nutrisi yang lebih lengkap.

Penerapan di usaha peternakan tetap memerlukan kehati-hatian. Ma et al. (2024) memperlihatkan hubungan antara sumber bahan pakan, biaya, dan dampak lingkungan pada tingkat sistem produksi. Penelitian lain menunjukkan bahwa konsekuensi ekonomi dari suplemen atau penggantian bahan tidak dapat diputuskan hanya dari biaya ransum, tanpa mempertimbangkan respons produksi susu (Azubuike et al., 2025; Ho et al., 2026; Nicholson et al., 2024; Souza et al., 2025). Bista et al. (2026), Bezat-Jarzębowska dan Rembisz (2025), serta Luts et al. (2026) juga menekankan pentingnya pengukuran pengembalian ekonomi dan perencanaan biaya dalam keputusan usaha. Untuk formulasi yang benar-benar akan diterapkan, ketersediaan serta mutu bahan, kondisi ternak, dan respons produksi perlu diukur secara tersendiri (Mtawali et al., 2026; Ponjantuk & Homchalee, 2025; Thös et al., 2026).

3.7 Keterbatasan penelitian

Temuan menggambarkan 24 usaha yang dipilih secara purposif di satu desa; hasilnya tidak ditujukan sebagai estimasi karakteristik seluruh peternak Kabupaten Malang. Pasangan harga berasal dari perbedaan antarresponden pada satu waktu pengumpulan data, bukan catatan fluktuasi harga harian

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2941
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

atau deret waktu. Oleh karena itu, himpunan harga dua dimensi merupakan skenario evaluasi, tanpa asumsi probabilitas atau prakiraan perubahan pasar. Penilaian biaya juga terbatas pada hijauan/jerami dan konsentrat. Beberapa responden menggunakan silase dan bahan lain, sedangkan instrumen tidak membedakan secara khusus pengeluaran tunai dari nilai bahan yang dihasilkan sendiri.

Analisis ini membandingkan tiga komposisi yang nilainya telah ditetapkan, sehingga tidak menilai kinerja pencarian algoritma maupun menjamin bahwa komposisi dengan biaya terendah juga layak secara nutrisi. Kuantitas hijauan/jerami belum dinyatakan pada basis bahan kering yang seragam, sementara kandungan nutrien dan kebutuhan konsumsi tiap sapi tidak tersedia untuk pemeriksaan biologis. Pengembangan penelitian dapat menguji komposisi yang sama dengan data bahan kering, kandungan nutrien, dan respons produksi susu yang terukur (Atsbeha, 2025; Ho et al., 2026; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2021).

4. KESIMPULAN

Biaya terendah di antara tiga komposisi tetap berubah sesuai rasio harga konsentrat terhadap harga hijauan/jerami. Pada rasio di bawah 3,7893, komposisi acuan paling murah; pada rasio di antara 3,7893 dan 4,1038, kandidat FA paling murah; sedangkan pada rasio di atas 4,1038, *grid search* menjadi pilihan termurah. Tepat pada kedua ambang, dua alternatif memiliki biaya yang sama. Dari 21 pasangan harga yang diamati, *grid search* termurah pada 17 pasangan dan FA pada empat pasangan. *Grid search* juga memiliki *regret* maksimum terendah, yaitu Rp220/ekor/hari, baik pada pasangan harga survei maupun pada dua rentang harga berbentuk kotak. Angka tersebut merupakan tambahan biaya terbesar apabila *grid search* dipertahankan dibandingkan dengan alternatif termurah di antara tiga kandidat pada masing-masing kondisi harga, bukan penghematan yang sudah dialami peternak. Ambang rasio membantu mengenali kapan pilihan perlu ditinjau, sedangkan minimax *regret* menunjukkan besarnya risiko biaya apabila pilihan tidak berubah. Rekomendasi penerapan pakan tetap harus mempertimbangkan kandungan nutrien dan kebutuhan sapi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada peternak sapi perah di Pujon Kidul yang telah memberikan informasi mengenai pengelolaan pakan dan usaha ternaknya. Penulis juga menghargai dukungan akademik Program Studi Matematika, Universitas Terbuka.

KETERSEDIAAN DATA DAN KODE

Data anonim 24 usaha peternakan, kamus variabel, kuesioner, serta skrip penghitungan statistik, fungsi biaya, ambang rasio harga, dan minimax *regret* disiapkan sebagai bahan pendukung sesuai ketentuan izin penggunaan data. Tabel 1 dan Tabel 3 menyajikan keterkaitan butir kuesioner dengan variabel analisis serta kuantitas tiga komposisi yang digunakan dalam evaluasi.

DAFTAR PUSTAKA

Alqaisi, O., & Schlecht, E. (2021). Feeding models to optimize dairy feed rations in view of feed availability, feed prices and milk production scenarios. *Sustainability, 13*(1), Article 215. https://doi.org/10.3390/su13010215

Atsbeha, D. M. (2025). Feed efficiency estimation from stochastic feed requirement frontier. *Journal of Dairy Science, 108*(3), 2547–2560. https://doi.org/10.3168/jds.2023-24301

Azubuike, B. N., Chlingaryan, A., Correa-Luna, M., Clark, C. E. F., & Garcia, S. C. (2025). A data-driven approach for optimising supplement allocation to individual lactating dairy cows in pasture-based systems. *Smart Agricultural Technology, 12*, Article 101669. https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101669

Barrientos-Blanco, J. A., Moraes, L., Waddell, J., & Reed, K. F. (2024). Farm-specific estimates of forage variability result in larger optimal control limits for forage quality monitoring. *Journal of Dairy Science, 107*(10), 7822–7841. https://doi.org/10.3168/jds.2023-24387

Bertsimas, D., & Sim, M. (2004). The price of robustness. *Operations Research, 52*(1), 35–53. https://doi.org/10.1287/opre.1030.0065

Bezat-Jarzębowska, A., & Rembisz, W. (2025). Modeling the profitability of milk production—A

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2941
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

simulation approach. *Agriculture, 15*(13), Article 1409. https://doi.org/10.3390/agriculture15131409

Bista, B., DeLay, N., Pinedo, P., & Manriquez, D. (2026). Integrating automated body condition scores and lactation data via optimization algorithms to maximize milk revenue and minimize the cost of delayed conception in dairy cows. *Journal of Dairy Science, 109*(10), 10610–10623. https://doi.org/10.3168/jds.2025-28132

Campos, L. M., Ringer, H., Chung, M., & Hanigan, M. D. (2023). Application of a mathematical framework for the optimization of precision-fed dairy cattle diets. *Animal, 17*(Suppl. 5), Article 101001. https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.101001

Gong, Y., Huang, C.-L., & Cabrera, V. E. (2026). Can nutritional grouping lower feed costs and enteric methane when diets are optimized with modest ingredient changes? *JDS Communications, 7*(3), 321–326. https://doi.org/10.3168/jdsc.2025-0919

Ho, C. K. M., Douglas, M. L., Giri, K., Wales, W. J., & Russo, V. M. (2026). Economics of altering the amount of supplement offered to dairy cows grazing pasture according to nutritional requirements in early lactation. *JDS Communications, 7*(Suppl. 1), 144–150. https://doi.org/10.3168/jdsc.2025-0940

Kabir, M. A., Sultana, N., Al Noman, A., Hossain, S. M. J., Miraz, M. F. H., & Deb, G. K. (2022). FeedMaster: A least-cost feed formulation app for minimizing the cost and maximizing milk yield. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research, 9*(3), 374–382. https://doi.org/10.5455/javar.2022.i605

Kılınç Yılmaz, M., Şahin, Y., & Oruç, K. O. (2024). Price forecasting of feed raw materials used in dairy farming: A methodological comparison. *Alphanumeric Journal, 12*(3), 249–280. https://doi.org/10.17093/alphanumeric.1504096

Kouvelis, P., & Yu, G. (1997). *Robust discrete optimization and its applications*. Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2620-6

Li, J., Kebreab, E., You, F., Fadel, J. G., Hansen, T. L., VanKerkhove, C., & Reed, K. F. (2022). The application of nonlinear programming on ration formulation for dairy cattle. *Journal of Dairy Science, 105*(3), 2180–2189. https://doi.org/10.3168/jds.2021-20817

Luts, P., Babyn, I., Burlaka, S., Mykytyuk, V., & Kisilov, R. (2026). Optimization of feed procurement technology to minimize the cost of milk for farms of different production capacities. *Technology Audit and Production Reserves, 2*(3), 68–75. https://doi.org/10.15587/2706-5448.2026.359366

Ma, Y., Hou, Y., Zhang, T., Zhu, X., Fang, Q., & Oenema, O. (2024). Decreasing environmental footprints of dairy production systems through optimization of feed rations and origins. *Journal of Cleaner Production, 461*, Article 142637. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142637

Mijić, D., Vico, G., Popović, B., Popović, N., Ljubojević, M., & Savić, M. (2024). OPTIMILK: A web-based tool for least-cost dairy ration optimization using linear programming. *Agriculture, 14*(9), Article 1580. https://doi.org/10.3390/agriculture14091580

Mohammad, S. I., Raja, N., Vasudevan, A., Yogeesh, N., Mohammad, A. A., Jabeen, F. T. Z., Hunitie, M. F. A., & Al-Oraini, B. (2025). Optimizing livestock feed formulation under uncertainty: An interval-valued fuzzy approach to balance nutrition and cost. *Advances in Animal and Veterinary Sciences, 13*(9), 1960–1969. https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2025/13.9.1960.1969

Mtawali, M., Kawonga, B., Banda, L. J., Chigwa, F., & Chiumia, D. (2026). Accuracy of a feed formulation algorithm for predicting milk yield in lactating cows. *Discover Animals, 3*, Article 21. https://doi.org/10.1007/s44338-026-00178-y

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021). *Nutrient requirements of dairy cattle* (8th rev. ed.). The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/25806

Nicholson, C. F., Stephenson, M. W., Armentano, L., & Harvatine, K. (2024). Economic analysis of high-oleic soybeans in dairy rations. *Journal of Dairy Science, 107*(6), 3642–3650. https://doi.org/10.3168/jds.2023-23738

Ponjantuk, T., & Homchalee, R. (2025). Non-linear programming model for dairy cattle feed production planning. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 35*(4), 1–

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2941
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

15. https://doi.org/10.14416/j.kmutnb.2025.03.001

Risyahadi, S. T. (2022). Optimasi formula pakan sapi perah dengan linier programming untuk minimasi biaya bahan baku di Koperasi XYZ Jawa Tengah. *Eqien: Jurnal Ekonomi dan Bisnis, 10*(1), 227–231. https://doi.org/10.34308/eqien.v10i1.515

Souza, V. C., Gleason, C. B., Price, T. P., dos Reis, B. R., Sujani, S., Davis, T. C., Liebe, D. M., Daniels, K. M., & White, R. R. (2025). Production responses of dairy cows to precision feeding based on historical performance during short-term changes in supplementation. *Journal of Animal Science, 103*, Article skaf317. https://doi.org/10.1093/jas/skaf317

Thös, A., Schuler, J., Kokemohr, L., Zander, P., Gutser, K., Uthes, S., Hosseini-Yekani, S.-A., & Aurbacher, J. (2026). Harvest timing as a key lever for improvement of alfalfa-based feeding systems: A bio-economic analysis for a Brandenburg dairy farm. *Agricultural Systems, 237*, Article 104774. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2026.104774

Usigbe, M. J., Uyeh, D. D., Park, T., Ha, Y., & Mallipeddi, R. (2025). Many objective optimization and decision support for dairy cattle feed formulation. *Scientific Reports, 15*, Article 13451. https://doi.org/10.1038/s41598-025-96633-z

Yang, X.-S. (2009). Firefly algorithms for multimodal optimization. In O. Watanabe & T. Zeugmann (Eds.), *Stochastic algorithms: Foundations and applications* (pp. 169–178). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04944-6_14

DOI: https://doi.org/10.54082/jupin.2941
p-ISSN: 2808-148X
e-ISSN: 2808-1366

Halaman ini dikosongkan