



Evaluasi Perbandingan Efisiensi Rancangan Percobaan Klasik dan Rancangan Optimal dalam Mengestimasi Efek Perlakuan

Ghea Weisha^{✉1}, Lidya Pratiwi², Mutia Yollanda³, Dahlia Misrika⁴

Statistika dan Sains Data, Universitas Andalas, Indonesia^{1,2,3,4}

email: ghea_weisha@sci.unand.ac.id¹, lidya_pratiwi@sci.unand.ac.id²,

mutia.yollanda@sci.unand.ac.id³, dahlia.misrika@sci.unand.ac.id⁴

Received 28 Juni 2025, Accepted 06 September 2025, Published 30 September 2025

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi perbandingan dari rancangan percobaan klasik dan rancangan optimal untuk mengestimasi efek perlakuan secara efisien, dengan fokus pada kemampuan kedua rancangan tersebut dalam menghasilkan estimasi yang akurat dan meminimalkan varians. Rancangan percobaan klasik, seperti Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial, banyak diterapkan karena kemudahan implementasinya dan struktur yang lebih sederhana. Namun efektivitasnya dapat menurun dalam kondisi dengan banyak faktor atau keterbatasan sumber daya. Sebaliknya, rancangan optimal seperti rancangan A-optimal diterapkan untuk meminimalkan varians, sehingga mampu menghasilkan informasi yang lebih akurat dengan jumlah unit percobaan yang lebih sedikit. Perbandingan kedua rancangan dalam konteks pengaruh interaksi dosis pupuk dan jarak tanam terhadap produktivitas padi, melalui pendekatan simulasi dan analisis matriks informasi Fisher untuk menilai efisiensi rancangan. Hasil menunjukkan bahwa rancangan A-optimal memberikan estimasi yang lebih akurat dan efisiensi yang lebih tinggi, terutama dalam mengakomodasi interaksi faktor yang kompleks. Berdasarkan hasil analisis tersebut, rancangan A-optimal dapat digunakan untuk memperbaiki rancangan percobaan yang kurang optimal. Selain itu, pemilihan rancangan percobaan perlu mempertimbangkan tujuan penelitian, kompleksitas model, dan keterbatasan sumber daya guna mendukung hasil eksperimen yang optimal.

Kata Kunci: *Rancangan Percobaan; Rancangan Faktorial; Rancangan A-optimal; Produktivitas Padi.*

Abstract

This study evaluates the comparison between classical experimental designs and optimal designs in efficiently estimating treatment effects, with a focus on their ability to produce accurate parameter estimates and minimize variance. Classical experimental designs, such as the factorial Completely Randomized Design (CRD), are widely applied due to their simplicity and ease of implementation. However, their effectiveness may decline in situations involving multiple factors or limited resources. In contrast, optimal designs, such as the A-optimal design, are specifically constructed to minimize the variance of parameter estimates, thereby providing more precise information using fewer experimental units. The comparison is conducted in the context of evaluating the interaction effect between fertilizer dosage and plant spacing on rice productivity. The assessment is carried out through simulation and analysis of the Fisher Information Matrix to measure the design's statistical efficiency. The results show that the A-optimal design provides more accurate and efficient estimates, especially in accommodating complex factor interactions. Therefore, the A-optimal approach can be employed to improve suboptimal experimental designs. Furthermore, the choice of an

experimental design should be guided by the study objectives, model complexity, and available resources to ensure optimal experimental outcomes.

Keywords: *Design of Experiment; Factorial Designs; A-optimal Designs; Rice Productivity.*

✉ Corresponding author

PENDAHULUAN

Dalam penelitian agronomi, khususnya yang berkaitan dengan produktivitas padi merupakan salah satu bidang yang sangat penting dalam mendukung ketahanan pangan dan kesejahteraan petani di Indonesia. Namun demikian, peningkatan produktivitas padi tidak selalu didapat hanya melalui penggunaan varietas unggul atau intensifikasi budidaya. Salah satu faktor penting yang turut menentukan keberhasilan produksi padi adalah pemupukan, khususnya dalam hal penentuan dosis pupuk yang tepat agar memberikan hasil optimal terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi [1].

Namun, keterbatasan sumber daya seperti luas lahan percobaan, biaya operasional yang tinggi, serta keterbatasan waktu sering sekali menjadi kendala dalam mengoptimalkan hasil produksi. Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan penerapan metode rancangan percobaan yang tepat dan efisien guna memperoleh informasi yang maksimal dengan sumber daya yang terbatas. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah dengan penggunaan rancangan percobaan, yang memungkinkan peneliti untuk merancang percobaan secara lebih cermat sehingga dapat menghasilkan estimasi yang akurat meskipun dengan sumber daya yang terbatas.

Rancangan percobaan merupakan rancangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan informasi yang akurat. Rancangan percobaan klasik seperti Rancangan Acak Lengkap (RAL) merupakan salah satu bentuk rancangan klasik yang paling banyak digunakan. RAL memiliki struktur sederhana dan mudah diimplementasikan, sehingga sesuai dengan percobaan dengan satu atau dua faktor. Dalam kasus percobaan dengan dua faktor atau lebih dengan masing-masing terdiri dari beberapa taraf, RAL faktorial dapat digunakan untuk mengakomodasi interaksi antar perlakuan. Namun, dalam keadaan percobaan yang melibatkan banyak faktor dan keterbatasan unit percobaan, rancangan ini tidak selalu mampu memberikan hasil yang efisien [2]. Oleh karena itu, muncul kebutuhan akan pendekatan alternatif yang tidak hanya mampu menangani kompleksitas faktor, tetapi juga mempertimbangkan efisiensi penggunaan sumber daya. Salah satu pendekatan yang dapat memberikan titik-titik rancangan dengan mempertimbangkan keterbatasan di lapangan adalah rancangan optimal.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk menghasilkan titik-titik rancangan yang lebih efisien adalah rancangan optimal. Rancangan optimal merupakan salah satu pendekatan untuk mencari kombinasi dari beberapa faktor dengan mempertimbangkan informasi yang terkandung dalam rancangan tersebut [3]. Rancangan optimal dirancang untuk memilih titik-titik rancangan yang memungkinkan untuk mengatur kombinasi perlakuan secara strategis sehingga hasil percobaan dapat memberikan informasi yang lebih akurat dengan sumber daya yang terbatas. Rancangan ini mempertimbangkan struktur model secara langsung dan

disusun berdasarkan kriteria tertentu yang digunakan dalam penelitian. Rancangan optimal terdiri dari beberapa pendekatan, yaitu rancangan optimal dengan pendekatan pada dugaan respon dan pendekatan berbasis estimasi parameter. Pendekatan berbasis estimasi parameter terdiri dari beberapa kriteria, seperti kriteria A-optimal, C-optimal, dan D-optimal, yang masing-masingnya memiliki fokus yang berbeda dalam meminimalkan varians atau memaksimalkan informasi yang diperoleh.

Penggunaan rancangan optimal semakain luas dalam berbagai bidang ilmu. Beberapa studi sebelumnya menunjukkan rancangan optimal dapat menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dalam konteks percobaan lapangan dengan keterbatasan observasi [4]. Pendekatan serupa telah berhasil diterapkan dalam berbagai bidang agronomi, yaitu penggunaan rancangan optimal untuk peningkatan efisiensi estimasi dalam percobaan lapangan [5]. Rancangan A-optimal cenderung memiliki sifat statistik yang lebih unggul dibandingkan dengan D-optimal [6]. Selain itu, rancangan A-optimal juga terbukti lebih efisien dibandingkan dengan rancangan I-optimal dan G-optimal dalam studi-studi tertentu [7]. Oleh karena itu, rancangan A-optimal dipertimbangkan dalam penelitian ini untuk memperoleh estimasi parameter yang lebih akurat dan efisien. Kriteria A-optimal berfokus pada minimisasi jumlah varians dari estimasi parameter, sehingga menghasilkan estimasi yang lebih akurat dan efisien.

Dalam implementasinya, algoritma memainkan peran penting dalam membentuk rancangan optimal, terutama ketika ruang desain kompleks dan sumber daya terbatas. Peneliti sebelumnya mengembangkan algoritma dengan memodifikasi algoritma pertukaran (*exchange algorithm*) yang telah ada, yaitu dengan menggunakan algoritma pertukaran Fedorov [8]. Terdapat beberapa versi algoritma pertukaran ini, di mana pencarian dimulai dari satu rancangan acak, kemudian setiap titik rancangan dipertimbangkan untuk ditukar dengan titik yang lain. Pasangan titik yang baru adalah rancangan yang menghasilkan peningkatan terhadap nilai efisiensi suatu kriteria optimalitas [9]. Algoritma Fedorov dikenal efektif dalam menemukan solusi yang optimal untuk model linier maupun nonlinier [10].

Dalam konteks percobaan pertanian, sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa interaksi antara faktor-faktor tertentu memiliki dampak yang signifikan terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi. Penggunaan pupuk kandang dengan dosis yang berbeda menghasilkan produktivitas tanaman padi yang bervariasi. Penggunaan dosis pupuk perlu diperhatikan secara cermat agar sesuai dengan standar yang telah dianjurkan [11]. Sebagian besar petani masih melakukan pemupukan dengan jumlah yang besar ataupun jumlah yang tidak sesuai pada berbagai macam varietas padi. Hal tersebut dapat menyebabkan kerusakan kondisi tanah sehingga menurunkan hasil produksi [12]. Seiring dengan meningkatnya kompleksitas perlakuan dalam percobaan agronomi, beberapa penelitian telah menggunakan RAL faktorial sebagai pendekatan yang mampu mengakomodasi percobaan dengan banyak faktor [13].

Intensitas pemupukan terbukti berpengaruh signifikan terhadap produktivitas padi di Kecamatan Paterongan [14]. Salah satu penelitian menghasilkan bahwa pupuk kandang dengan dosis 10 t/ha memberikan hasil padi terbaik dengan potensi hasil mencapai 123.13 g per rumpun atau sekitar 5.77 t/ha [15]. Selain itu, penelitian lainnya

juga menunjukkan bahwa interaksi antara dosis pupuk dengan jarak tanam memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan tanaman padi [16], [17]. Beberapa penelitian ini memperkuat argumen bahwa efisiensi rancangan percobaan sangat diperlukan dalam memperoleh hasil percobaan yang valid dan informatif.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan efisiensi antara RAL faktorial dan rancangan A-optimal dalam mengestimasi efek perlakuan pada percobaan terhadap produktivitas tanaman padi. Evaluasi dilakukan melalui pendekatan simulasi dan analisis pada matriks informasi Fisher untuk menilai akurasi estimasi parameter dan efisiensi dari masing-masing rancangan. Fokus utamanya adalah akurasi estimasi parameter dan efisiensi jumlah unit percobaan, sehingga dapat menjadi acuan bagi peneliti dalam merancang percobaan yang lebih hemat terhadap sumber daya namun tetap menghasilkan informasi yang akurat.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan efisiensi antara Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial sebagai pendekatan klasik dan rancangan A-optimal sebagai pendekatan optimal, dalam mengestimasi efek perlakuan terhadap produktivitas tanaman padi. Tujuan utama adalah untuk menilai seberapa baik masing-masing rancangan dalam mengestimasi efek dari faktor yang digunakan. Penelitian ini melibatkan dua faktor, yaitu jarak tanam (faktor A) dengan 3 taraf dan dosis pupuk (faktor B) dengan 4 taraf. Seluruh kombinasi dari kedua faktor menghasilkan 12 kombinasi perlakuan, yang masing-masing diulang sebanyak tiga kali, sehingga jumlah total unit percobaan adalah sebanyak 36 unit percobaan. Pemilihan faktor dan taraf perlakuan disusun berdasarkan referensi studi empiris sebelumnya yang menunjukkan bahwa variasi jarak tanam dan dosis pemberian pupuk memberikan signifikan terhadap hasil produksi tanaman padi di berbagai kondisi lahan dan iklim.

Model yang digunakan dalam analisis data adalah model linier dua arah, yang dituliskan sebagai berikut [2]:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

di mana Y_{ijk} adalah respon perlakuan pada faktor A taraf ke- i , faktor B taraf ke- j dan ulangan ke- k , μ adalah rata-rata umum, α_i adalah pengaruh utama faktor A taraf ke- i , β_j adalah pengaruh utama faktor B taraf ke- j , $(\alpha\beta)_{ij}$ adalah efek interaksi faktor A taraf ke- i dan faktor B taraf ke- j , ε_{ijk} adalah galat faktor A taraf ke- i , faktor B taraf ke- j dan ulangan ke- k .

RAL faktorial digunakan sebagai representasi dari rancangan klasik. Seluruh kombinasi perlakuan dari dua faktor ditentukan dan disusun dalam bentuk faktorial. Setiap kombinasi perlakuan diulang dalam jumlah ulangan yang sama, untuk memperoleh unit percobaan yang seimbang. Seluruh unit percobaan tersebut diacak secara lengkap untuk menghindari bias dari faktor luar. Analisis ragam (ANOVA) dilakukan untuk mengevaluasi signifikansi pengaruh dari masing-masing faktor dan interaksinya terhadap respons produktivitas.

Untuk menghasilkan rancangan yang efisien secara statistik, digunakan rancangan optimal yang bertujuan untuk meminimalkan varians estimasi parameter.

Rancangan A-optimal disusun berdasarkan prinsip meminimalkan jumlah varians dari dugaan parameter, yaitu dengan meminimumkan nilai *trace* dari invers matriks informasi Fisher, $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ [6]. Matriks $\mathbf{X}$ dirumuskan dengan bentuk sebagai berikut:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (2)$$

dengan p adalah banyaknya parameter pada model. Kriteria A-optimal dapat dituliskan sebagai berikut:

$$A_{opt} = \text{trace}[(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}] \quad (3)$$

Semakin kecil nilai A-optimal, maka semakin baik rancangan tersebut. Untuk mengukur kebaikan suatu rancangan dihitung dengan menggunakan nilai efisiensi. Ukuran kebaikan untuk rancangan A-optimal nilai efisiensinya disebut dengan *A-efficiency*. Nilai *A-efficiency* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$A_{eff} = 100 \times \frac{p/N}{\text{trace}[(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}]} \quad (4)$$

Kandidat set yang digunakan dalam rancangan optimal ini terdiri dari seluruh kombinasi perlakuan yang sama seperti pada RAL faktorial. Namun, perlu penggunaan algoritma untuk menentukan jumlah titik dan distribusi titik agar diperoleh rancangan yang lebih efisien. Salah satu pendekatan yang sering digunakan adalah algoritma Fedorov (*Fedorov exchange algorithm*), yang secara iteratif memilih kombinasi perlakuan dari kandidat set berdasarkan kriteria yang digunakan. Algoritma Fedorov yang digunakan pada rancangan A-optimal dilakukan dengan memilih kombinasi titik rancangan dari kandidat set dengan tujuan meminimalkan *trace* dari matriks informasi tersebut. Adapun langkah-langkah algoritma Fedorov dalam rancangan A-optimal adalah sebagai berikut:

1. Membuat seluruh kombinasi perlakuan yang akan menjadi kandidat titik rancangan (Kandidat set, N).
2. Memilih sejumlah n titik rancangan yang akan dijadikan sebagai rancangan awal.
3. Menghitung nilai A-optimal menggunakan persamaan (3) dari rancangan yang tersusun.
4. Melakukan proses iterasi pertukaran titik-titik rancangan dengan kandidat titik lain yang tidak termasuk dalam rancangan awal, hingga diperoleh rancangan yang memberikan informasi paling optimal, ditandai dengan tidak adanya perbaikan berarti dalam nilai *trace* setelah iterasi terakhir [3], [4].
5. Algoritma dihentikan ketika nilai efisiensi pada iterasi ke- i lebih besar dari efisiensi pada iterasi sebelumnya, yaitu $A_{eff(i)} > A_{eff(i-1)}$.

Evaluasi rancangan dilakukan dengan membandingkan nilai efisiensi rancangan A-optimal dan RAL faktorial. Semakin tinggi nilai efisiensi suatu rancangan maka semakin baik rancangan tersebut dalam memberikan estimasi parameter yang presisi. Pendekatan ini tidak hanya mempertimbangkan berapa jumlah unit percobaan yang digunakan, tetapi juga mempertimbangkan seberapa besar informasi yang terkandung dalam struktur rancangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis dari dua pendekatan rancangan percobaan, yaitu RAL faktorial dan rancangan A-optimal. Evaluasi difokuskan pada perbandingan nilai efisiensi dari kedua rancangan dalam mengestimasi efek perlakuan jarak tanam dan dosis pupuk terhadap produktivitas padi.

Data dan Sumber Data

Data yang digunakan merupakan hasil simulasi berdasarkan referensi dosis pemupukan dan jarak tanam dari penelitian sebelumnya. Jarak tanam terdiri dari empat taraf, yaitu 25 cm × 25 cm, 30 cm × 30 cm, 35 cm × 35 cm, dan 40 cm × 40 cm. Sedangkan dosis pupuk terdiri dari tiga taraf, yaitu (1) 200 kg/ha Urea + 100 kg/ha SP-36 + 100 kg/ha KCl, (2) 300 kg/ha Urea + 150 kg/ha SP-36 + 150 kg/ha KCl, dan (3) 400 kg/ha Urea + 200 kg/ha SP-36 + 200 kg/ha KCl [15], [18]. Simulasi data dilakukan untuk membentuk nilai produksi dari masing-masing kombinasi perlakuan menggunakan pendekatan model linier pada persamaan (1).

Dengan adanya empat taraf jarak tanam dan 3 taraf dosis pupuk, diperoleh 12 kombinasi perlakuan. Masing-masing percobaan diulang sebanyak tiga kali, sehingga total percobaan yang akan dilakukan adalah sebanyak 36 unit percobaan. Pengulangan ini bertujuan untuk mengakomodasi variasi alamiah dalam lingkungan pertanian serta meningkatkan ketelitian dalam mengestimasi efek perlakuan terhadap produktivitas tanaman. Rincian lengkap mengenai faktor dan taraf yang digunakan dalam percobaan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor dan Taraf Perlakuan Data yang Digunakan

Faktor	Kode	Taraf Perlakuan
Jarak tanam (cm)	A1	25 × 25
	A2	30 × 30
	A3	35 × 35
	A4	40 × 40
Dosis pupuk (kg/ha, Urea:SP-36:KCl)	B1	200:100:100
	B2	300:150:150
	B3	400:200:200

Berdasarkan faktor dan taraf perlakuan yang tercantum pada Tabel 1, dilakukan penyusunan kombinasi perlakuan secara faktorial. Dengan melibatkan empat taraf jarak tanam dan tiga taraf dosis pemberian pupuk, seluruh kombinasi perlakuan tersebut disusun sebagaimana yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kombinasi Perlakuan Jarak Tanam dan Dosis Pupuk

No	Kode
1	A1B1
2	A1B2
3	A1B3
4	A2B1
5	A2B2
6	A2B3
7	A3B1

8	A3B2
9	A3B3
10	A4B1
11	A4B2
12	A4B3

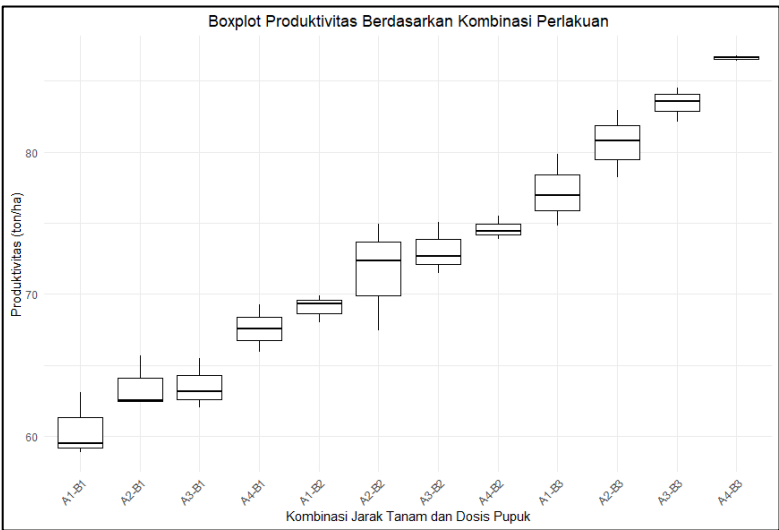
Hasil ANOVA pada RAL Faktorial

Analisis Ragam (ANOVA) dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh jarak tanam, dosis pemberian pupuk, serta interaksi keduanya terhadap produktivitas tanaman padi.

Tabel 3. Hasil ANOVA RAL Faktorial

	Df	Sum of Square	Mean Square	F-value	P-value
Jarak tanam	3	11.598	3.866	97.623	<0.001
Dosis pupuk	2	14.868	7.434	187.718	<0.001
Jarak tanam*dosis pupuk	6	0.126	0.021	0.529	0.056
Residuals	24	0.950	0.040		

Berdasarkan hasil ANOVA pada Tabel 3, diperoleh bahwa baik faktor jarak tanam maupun dosis pupuk memberikan pengaruh yang signifikan terhadap produktivitas padi. Efek interaksi antara keduanya mendekati signifikan yaitu dengan nilai *p – value* sebesar 0.056, menandakan bahwa respons terhadap dosis pupuk dapat bervariasi pada masing-masing jarak tanam, meskipun tidak terlalu kuat. Hasil ini menunjukkan perancangan percobaan yang mampu menangkap efek interaksi dengan efisien sangat diperlukan, terlebih jika terdapat keterbatasan unit percobaan atau anggaran.



Gambar 1. Boxplot Produktivitas Padi Berdasarkan Kombinasi Perlakuan

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa peningkatan dosis pupuk memberikan dampak langsung terhadap kenaikan produktivitas padi pada seluruh taraf jarak tanam. Rata-rata produktivitas tertinggi dihasilkan oleh dosis pupuk B3 yaitu

400:200:200. Efek dari dosis pupuk tampak dominan yang mengindikasikan bahwa pemberian unsur hara sangat penting dalam produktivitas tanaman khususnya padi.

Variasi antar ulangan juga dapat dilihat pada Gambar 1. Kombinasi perlakuan jarak tanam A4 (40 × 40 cm) dengan dosis pupuk B3 (400:200:200) menunjukkan sebaran yang sedikit, artinya hasil yang stabil dan konsisten. Sebaliknya pada kombinasi perlakuan jarak tanam A2 (30 × 30 cm) dengan dosis pupuk B2 (300:150:150) menghasilkan sebaran yang lebih besar, meskipun nilai tengahnya tinggi menandakan potensi produktivitasnya besar namun belum seragam.

Struktur dan Nilai Efisiensi Rancangan A-optimal

Dalam upaya meningkatkan efisiensi rancangan percobaan, rancangan A-optimal digunakan sebagai alternatif dari rancangan faktorial. Dalam penelitian ini akan dipilih sebanyak 12 titik rancangan dari keseluruhan kandidat set, dengan tujuan untuk menyusun rancangan yang mampu memberikan informasi maksimal terhadap estimasi parameter, tetapi dengan jumlah unit percobaan yang lebih sedikit dibandingkan dengan RAL faktorial.

Proses pemilihan titik rancangan dilakukan menggunakan algoritma Fedorov, yang bekerja secara iteratif untuk memilih kombinasi perlakuan dari kandidat set berdasarkan kriteria A-optimal, yaitu dengan meminimalkan nilai *trace* dari matriks informasi. Hasil dari rancangan A-optimal yang terpilih berdasarkan hasil iterasi algoritma Fedorov ditampilkan pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Hasil Kombinasi Titik Rancangan A-Optimal

No	Jarak Tanam (A)	Dosis Pupuk (B)	Kode
1	25 × 25	200:100:100	A1B1
2	25 × 25	400:200:200	A1B3
3	30 × 30	200:100:100	A2B1
4	30 × 30	300:150:150	A2B2
5	30 × 30	400:200:200	A2B3
6	35 × 35	200:100:100	A3B1
7	35 × 35	300:150:150	A3B2
8	35 × 35	400:200:200	A3B3
9	40 × 40	200:100:100	A4B1
10	40 × 40	300:150:150	A4B2
11	40 × 40	400:200:200	A4B3
12	30 × 30	300:150:150	A2B2

Tabel 4 memberikan susunan kombinasi titik-titik perlakuan yang dipilih dalam rancangan A-optimal dengan menggunakan algoritma Fedorov. Kombinasi A2B2 muncul dua kali yang berarti ulangan dari titik tersebut memberikan kontribusi yang lebih besar terhadap informasi yang diperoleh. Keberadaan kombinasi yang berulang mengindikasikan bahwa rancangan A-optimal memiliki fleksibilitas dalam memilih titik-titik yang optimal.

Perbandingan Nilai Efisiensi Rancangan A-optimal dan RAL Faktorial

Selanjutnya, untuk menilai seberapa efisien rancangan A-optimal, rancangan pada Tabel 4 dibandingkan dengan RAL faktorial (36 titik), dengan cara analisis nilai

$trace[(X'X)^{-1}]$ dan menghitung nilai efisiensi relatif berdasarkan kriteria A-optimal. Hasil dari perbandingan tersebut disajikan pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Nilai <i>Trace</i> dan Nilai Efisiensi RAL Faktorial dan Rancangan A-Optimal			
Rancangan	Titik Rancangan	<i>Trace</i>	Efisiensi (%)
RAL Faktorial	36	0.181	61.380
A-Optimal	12	0.542	66.667

Berdasarkan Tabel 5, nilai efisiensi rancangan A-optimal lebih besar dibandingkan dengan nilai efisiensi RAL faktorial. Hal ini menunjukkan bahwa banyaknya jumlah titik tidak menjamin nilai efisiensi tinggi, terutama jika titik-titik tersebut tidak dipilih secara optimal. Nilai *trace* pada RAL faktorial memang lebih kecil dibandingkan A-optimal, namun karena jumlah titiknya jauh lebih banyak, efisiensi per unit percobaan menjadi lebih kecil.

SIMPULAN

Penelitian ini mengevaluasi dan membandingkan efisiensi antara RAL faktorial dan rancangan A-optimal dengan mengestimasi efek perlakuan jarak tanam dan dosisi pupuk terhadap produktivitas padi. Perbandingan dilakukan untuk melihat sejauh mana kedua rancangan mampu memberikan rancangan yang efisien dan lebih akurat. Kedua rancangan memiliki keunggulan masing-masing yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan penelitian.

RAL faktorial memberikan cakupan menyeluruh terhadap seluruh kombinasi perlakuan dan cocok digunakan ketika sumber daya percobaan mencukupi. Rancangan ini juga bersifat sistematis, memiliki struktur yang seimbang, serta mempermudah dalam menganalisis. Selain itu, RAL faktorial relatif lebih mudah diterapkan dalam praktik lapangan dan telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian.

Di sisi lain, rancangan A-optimal menunjukkan keunggulan dalam efisiensi statistik, khususnya dalam meminimalkan varians estimasi dengan jumlah titik rancangan yang lebih sedikit. Hasil perhitungan menunjukkan nilai A-efisiensi sebesar 66.667%, yang mana nilai efisiensinya lebih besar dibandingkan dengan nilai efisiensi dari RAL faktorial. Hal ini menunjukkan bahwa rancangan A-optimal secara statistik lebih efisien dan informatif, terutama dalam konteks keterbatasan unit percobaan.

Dengan demikian, rancangan A-optimal mampu memberikan informasi yang sebanding atau bahkan lebih baik dibandingkan dengan RAL faktorial. Efisiensi menjadi keunggulan penting dalam konteks penelitian dengan keterbatasan sumber daya, baik dari segi lahan, waktu, maupun biaya operasional. Pemilihan rancangan secara keseluruhan perlu disesuaikan berdasarkan dengan kompleksitas model, tujuan penelitian, dan efisiensi pelaksanaan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sepdiyansyah, V. O. Subardja, and R. Y. Agustini, "KOMBINASI PUPUK ORGANIK, HAYATI DAN ANORGANIK TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN PADI (*Oryza Sativa* L) VARIETAS INPARI 32," *J. Agrotech*, vol. 14, no. 1, pp. 43–48, Jun. 2024, doi: 10.31970/agrotech.v14i1.160.
- [2] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, Tenth Edition. Wiley, 2020.

- [3] A. C. Atkinson, A. N. Donev, and R. D. Tobias, Eds., *Optimum experimental designs, with SAS*. in Oxford statistical science series, no. 34. Oxford New York: Oxford University Press, 2010.
- [4] V. V. Fedorov and P. Hackl, *Model-Oriented Design of Experiments*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1997.
- [5] G. Dun, N. Mao, X. Ji, F. Zhang, and W. Ji, "Optimal Design and Experiment of Corn-Overlapped Strip Fertilizer Spreader," *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 4, p. 2559, Feb. 2023, doi: 10.3390/app13042559.
- [6] B. Jones, K. Allen-Moyer, and P. Goos, "A-optimal versus D-optimal design of screening experiments," *J. Qual. Technol.*, vol. 53, no. 4, pp. 369–382, Aug. 2021, doi: 10.1080/00224065.2020.1757391.
- [7] G. Weisha, E. Erfiani, I. Irzaman, and U. D. Syafitri, "A-OPTIMAL DESIGN IN NON-LINEAR MODELS TO INCREASE SILICON DIOXIDE PURITY LEVELS," *MEDIA Stat.*, vol. 17, no. 1, pp. 36–44, Oct. 2024, doi: 10.14710/medstat.17.1.36-44.
- [8] J. Yang, L. Tong, and A. Mandal, "D-optimal Designs with Ordered Categorical Data," *Stat. Sin.*, 2018, doi: 10.5705/ss.202016.0210.
- [9] F. Olusoga Akin and D. G.O., "Towards a better Estimation of the Parameters of Linear Regression Models: The Optimal Designed Experiment Approach," vol. 4, no. 5, 2018.
- [10] R. Harman and L. Filová, "Computing efficient exact designs of experiments using integer quadratic programming," *Comput. Stat. Data Anal.*, vol. 71, pp. 1159–1167, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.csda.2013.02.021.
- [11] U. S. Riani, "Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Produktivitas Padi Sawah Di Kelurahan Anduring Kecamatan Kuranji Kota Padang", doi: 10.59581/jtpip-widyakarya.v1i3.2763.
- [12] D. Y. Setyo Nugroho, "Pengaruh Pupuk NPK Terhadap Karakter Agronomi Tiga Varietas Padi Gogo (*Oryza sativa* L)," *Berk. Ilm. Pertan.*, vol. 7, no. 3, p. 202, Oct. 2024, doi: 10.19184/bip.v7i3.46853.
- [13] E. T. Prihantari, T. Hardiyati, and S. Samiyarsih, "KUALITAS BIJI DAN KARAKTER AGRONOMI PADI HITAM (*Oryza sativa* L.) LOKAL PEKALONGAN DENGAN PENAMBAHAN PAKLOBUTRAZOL DAN GIBERELIN," *BioEksakta J. Ilm. Biol. Unsoed*, vol. 3, no. 2, p. 88, Apr. 2022, doi: 10.20884/1.bioe.2021.3.2.4240.
- [14] F. R. Bakhri, "FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PRODUKTIVITAS USAHA TANI ANTARA KECAMATAN PETERONGAN DAN KECAMATAN MEGALUH KABUPATEN JOMBANG," vol. 3, 2016.
- [15] R. P. Azalika, S. Sumardi, and S. Sukisno, "PERTUMBUHAN DAN HASIL PADI SIRANTAU PADA PEMBERIAN BEBERAPA MACAM DAN DOSIS PUPUK KANDANG," *J. Ilmu-Ilmu Pertan. Indones.*, vol. 20, no. 1, pp. 26–32, Sep. 2018, doi: 10.31186/jipi.20.1.26-32.
- [16] N. Ratnawati, T. Surawinata, and T. Suciatty, "Pengaruh Pupuk P dan Jarak Tanam terhadap Volume Akar, Serapan Hara P, dan Pertumbuhan Tanaman serta Hasil Padi (*Oryza sativa* L.) Kultivar Inpari 13," *J. AGROSWAGATI*, vol. 1, no. 2, pp. 81–90, Sep. 2013, doi: 10.33603/agroswagati.v1i2.792.
- [17] D. Yulianti, S. Soeparjono, M. N. Khozin, W. K. Putri, and R. S. Harsanti, "Pengaruh Jarak Tanam dan Konsentrasi Pupuk Organik Cair (POC) terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Padi pada Sistem Jajar Legowo di Lahan Rawa," no. 2, 2024, doi: 10.33005/plumula.v12i2.216.
- [18] Sepdiyansyah, V. O. Subardja, and R. Y. Agustini, "KOMBINASI PUPUK ORGANIK, HAYATI DAN ANORGANIK TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN PADI (*Oryza Sativa* L) VARIETAS INPARI 32," *J. Agrotech*, vol. 14, no. 1, pp. 43–48, Jun. 2024, doi: 10.31970/agrotech.v14i1.160.