



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

D-OPTIMAL SATURATED DESIGN PADA STUDI KASUS OPTIMASI AKTIVASI ARANG AKTIF

UIWANG NUR THORIQ



**PROGRAM STUDI STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



- 



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “*D-optimal Saturated Design* pada Studi Kasus Optimasi Aktivasi Arang Aktif” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Mei 2025

Uiwang Nur Thoriq
NIM G1401211020

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



ABSTRAK

UIWANG NUR THORIQ. *D-optimal Saturated Design* pada Studi Kasus Optimasi Aktivasi Arang Aktif. Dibimbing oleh UTAMI SYAH SYAFITRI dan AAM ALAMUDI.

Perancangan percobaan merupakan serangkaian pengujian untuk mengubah sebuah input menjadi suatu output yang merupakan respon dari suatu percobaan. Salah satu cabang dari perancangan percobaan adalah rancangan optimal yang mencari rancangan berdasarkan kriteria tertentu. Rancangan optimal membutuhkan algoritma untuk menemukan titik rancangan. Salah satu algoritmanya yaitu *Modified Fedorov's Exchange Algorithm*. Di dalam algoritma membutuhkan *candidate set*. Salah satu *candidate set* dalam penelitian ini didasarkan pada *Central Composite Design* (CCD) dengan model kuadratik. *Saturated design* merupakan rancangan yang hanya membutuhkan banyaknya titik percobaan sama dengan banyaknya parameter yang akan diduga dalam suatu percobaan. Kata kunci dalam *Saturated Design* adalah meminimalkan jumlah titik percobaan, penelitian ini menggunakan pendekatan desain optimal untuk membentuk *Saturated Design*. Lima *candidate set* dibangun berdasarkan CCD dan rancangan faktorial. *D-optimality criterion* digunakan dalam penelitian ini karena berfokus pada presisi pendugaan parameter. Studi kasus melibatkan eksperimen yang melibatkan arang aktif yang berasal dari hidrokarbon tempurung kelapa sawit. Ada dua belas *Saturated Design* yang terbentuk. Delapan *Saturated Design* optimal yang melibatkan set kandidat titik CCD lebih optimal dibandingkan *Saturated Design* dari hanya titik faktorial dengan D-efisiensi sebesar 1,34.

Kata kunci: *central composite design, D-optimality criterion, modified Fedorov exchange algorithm, rancangan optimal, saturated design*

ABSTRACT

UIWANG NUR THORIQ. D-optimal Saturated Design in Activated Carbon Activation Optimization Case Study. Supervised by UTAMI SYAH SYAFITRI and AAM ALAMUDI.

An experimental design is a series of tests that change input variables to produce an output, which is a response from the experiment. One branch of experimental design is optimal design, which searches for designs based on specific criteria. Optimal design requires an algorithm to identify the optimal design points. One of the algorithms is the Modified Fedorov's Exchange Algorithm. The algorithm requires a candidate set. One of the candidates sets in this study is based on the Central Composite Design (CCD) with a quadratic model. A Saturated Design only requires the number of experimental points equal to the number of parameters. The key concept in Saturated Design is minimizing the number of experimental points; therefore, this study employs an optimal design approach to create an Optimum Saturated Design. Five candidate sets were built based on CCD and factorial design. The D-optimality criterion is used in this study because it focuses on the precision of parameter estimation. The case study involves an experiment involving activated charcoal derived from palm shell hydrocarbons. There are twelve Saturated Designs formed. Eight optimal Saturated Designs involving the CCD candidate point set are more optimal than Saturated Designs from only factorial points with a D-efficiency of 1.34.

Keywords: central composite design, D-optimality criterion, modified Fedorov exchange algorithm, optimal design, saturated design



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



D-OPTIMAL SATURATED DESIGN PADA STUDI KASUS OPTIMASI AKTIVASI ARANG AKTIF

UIWANG NUR THORIQ

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Statistika dan Sains Data

**PROGRAM STUDI STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Judul Skripsi : *D-optimal Saturated Design* pada Studi Kasus Optimasi Aktivasi Arang Aktif

Nama : Uiwang Nur Thoriq
NIM : G1401211020

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Utami Dyah Syafitri, S.Si., M.Si.



Pembimbing 2:
Ir. Aam Alamudi, M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Bagus Sartono, S.Si., M.Si.
NIP 197804112005011002



Tanggal Ujian:
26 Mei 2025

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah yang berjudul “*D-optimal Saturated Design* pada Studi Kasus Optimasi Aktivasi Arang Aktif” berhasil diselesaikan.

Penulisan karya ilmiah ini tentunya tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Dr. Utami Dyah Syafitri, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, saran, dan waktunya tidak hanya dalam pembuatan karya ilmiah, tetapi juga dalam berbagai tahapan kehidupan penulis ketika menempuh pendidikan di Institut Pertanian Bogor.
2. Ir. Aam Alamudi, M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan masukan sehingga karya ilmiah ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Ir. Mohammad Masjkur, M.S. sebagai dosen penguji yang telah memberikan saran sehingga penulisan karya ilmiah ini menjadi lebih baik lagi.
4. Dr. Ismail Budiman, S.Hut., M.Si. yang telah mengizinkan penelitiannya digunakan sebagai studi kasus dalam penelitian ini.
5. Orang tua, Bapak Muttaqin Ma'sum dan Ibu Nur Utami, serta keluarga penulis yang senantiasa memberikan dukungan baik dalam bentuk dukungan religius, finansial, maupun emosional.
6. Para dosen dan staf program studi Statistika dan Sains Data IPB yang telah memfasilitasi penulis selama menempuh pendidikan.
7. Jesika br Girsang, Hanifa Rahmacindia Nasution, Amalia Safira Widyawati grup Slayinpress, grup PDI-PK, dan teman-teman lainnya yang memberikan bantuan, dukungan, serta semangat kepada penulis.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyusun karya ilmiah ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
9. Ciptaan Tuhan lainnya yang memberikan dukungan dalam bentuk kehadiran, rasa, atau bahkan hanya sekedar keberadaan.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Mei 2025

Uiwang Nur Thoriq

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Saturated Design</i>	4
2.2 <i>Central Composite Design</i>	4
2.3 Desain Optimal	5
2.4 <i>D-optimality criterion</i> dan D-Efisiensi	5
2.5 <i>Modified Fedorov's Exchange Algorithm</i>	6
III METODE	7
3.1 Studi Kasus	7
3.2 Tahapan Pembentukan Rancangan	8
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	12
4.1 Pembentukan <i>Candidate Set</i>	12
4.2 Pembentukan <i>Starting Design</i>	13
4.3 Singularitas Matriks Informasi	14
4.4 <i>Improvement</i> Determinan pada Setiap <i>Candidate Set</i>	16
4.5 <i>Saturated Design</i> Terbaik untuk Setiap <i>Candidate Set</i>	21
4.6 Perbandingan Rancangan	26
4.7 Pemodelan dan Titik Optimal	27
V SIMPULAN DAN SARAN	33
5.1 Simpulan	33
5.2 Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN	36
RIWAYAT HIDUP	66



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR TABEL

1	Rancangan Budiman <i>et al.</i> (2019)	8
2	Pengelompokan <i>Saturated Design</i>	26
3	Nilai D-efisiensi antar <i>Saturated Design</i>	26
4	Taraf asli untuk pemodelan	28
5	Pemodelan dari <i>Saturated Design</i>	29
6	Taraf optimal suhu, waktu aktivasi, dan konduktivitas listrik	32

DAFTAR GAMBAR

1	<i>Central Composite Design</i> Budiman <i>et al.</i> (2019)	7
2	Diagram alir tahapan pembentukan rancangan	10
3	<i>Modified Fedorov's Exchange Algorithm</i>	11
4	Korelasi antar peubah pada $S_{1,1}$	15
5	<i>Improvement</i> determinan <i>starting design</i> dari C_1	16
6	<i>Improvement</i> determinan <i>starting design</i> dari C_2	17
7	<i>Improvement</i> determinan <i>starting design</i> dari C_3	18
8	<i>Improvement</i> determinan <i>starting design</i> dari C_4	19
9	<i>Improvement</i> determinan <i>starting design</i> dari C_5	20
10	Rancangan terbaik dari C_1	21
11	Rancangan terbaik dari C_2	22
12	Rancangan terbaik dari C_3	23
13	Rancangan terbaik dari C_4	24
14	Rancangan terbaik dari C_5	25
15	<i>Contour plot</i> prediksi model <i>Saturated Design</i>	31

DAFTAR LAMPIRAN

1	Syntax pembentukan <i>candidate set</i> dan <i>starting design</i>	37
2	Syntax <i>Modified Fedorov's Exchange Algorithm</i>	40
3	Syntax D-efisiensi, plot rancangan, model, dan <i>contour plot</i>	53