

- 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.

PENGEMBANGAN MODEL *FIXED EFFECT CLUSTERWISE LINEAR REGRESSION* UNTUK DATA PANEL DENGAN PENDEKATAN METAHEURISTIK

LUH PUTU WIDYA ADNYANI



**PROGRAM STUDI DOKTOR STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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.

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Pengembangan Model *Fixed Effect Clusterwise Linear Regression* untuk Data Panel dengan Pendekatan Metaheuristik” 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 disertasi ini.

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

Bogor, Juli 2026

Luh Putu Widya Adnyani
G1601202004



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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.

Perpustakaan IPB University



RINGKASAN

LUH PUTU WIDYA ADNYANI. Pengembangan Model *Fixed Effect Clusterwise Linear Regression* untuk Data Panel dengan Pendekatan Metaheuristik. Dibimbing oleh ASEP SAEFUDDIN, I MADE SUMERTAJAYA, dan BAGUS SARTONO.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan pemodelan yang mampu menangkap heterogenitas pola hubungan antarunit pengamatan. Pada banyak kasus, satu model regresi global tidak cukup menjelaskan seluruh unit karena setiap kelompok amatan dapat memiliki karakteristik dan pola hubungan yang berbeda antara peubah respon dan peubah penjelas. Pendekatan konvensional, yaitu melakukan pengelompokan terlebih dahulu kemudian pemodelan regresi pada setiap kelompok, memiliki kelemahan karena pembentukan kelompok tidak mempertimbangkan langsung kesesuaian model regresinya. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang dapat melakukan pengelompokan dan pemodelan secara simultan.

Permasalahan utama dalam *clusterwise regression* adalah proses optimasi yang kompleks karena penentuan keanggotaan gerombol dan pendugaan parameter regresi dilakukan secara bersamaan. Perubahan satu unit dari satu gerombol ke gerombol lain dapat mengubah parameter regresi, sisaan, dan nilai fungsi objektif. Kondisi ini membuat algoritma berisiko terjebak pada solusi lokal, terutama pada data dengan struktur gerombol yang saling tumpang tindih. Selain itu, pengembangan *clusterwise regression* umumnya masih berfokus pada data *cross section*, sedangkan banyak data empiris berbentuk data panel. Pada data panel, banyaknya parameter dapat menyebabkan model menjadi kompleks dan sulit diinterpretasikan, sehingga diperlukan pendekatan yang mampu menangkap heterogenitas tetapi tetap menghasilkan model yang lebih terstruktur.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan metodologi *clusterwise regression* berbasis metode kuadrat terkecil dengan pendekatan modified *simulated annealing*, mengembangkan formulasi *clusterwise regression* untuk data panel *fixed effect*, serta menerapkan metode yang dikembangkan pada data empiris. Kebaruan penelitian terletak pada modifikasi mekanisme pemilihan kandidat perpindahan unit melalui *stochastic residual selection*, yaitu memilih satu unit secara acak dari sejumlah unit dengan residual terbesar. Kebaruan berikutnya adalah perluasan metode tersebut pada data panel *fixed effect* dengan menetapkan keanggotaan gerombol pada level unit, sehingga seluruh pengamatan dari unit yang sama tetap berada dalam gerombol yang sama sepanjang periode pengamatan.

Metode yang dikembangkan adalah *stochastic residual selection-clusterwise linear regression-simulated annealing* (SRS-CLR-SA). Pada metode standar, kandidat perpindahan unit dipilih secara deterministik berdasarkan sisaan terbesar. Dalam penelitian ini, proses tersebut dimodifikasi melalui nilai m , yaitu banyaknya kandidat sisaan terbesar yang dipertimbangkan. Simulasi awal pada data *cross section* dilakukan dengan nilai $m = 1, m = 3$, dan $m = 5$. Nilai $m = 1$ merepresentasikan pemilihan sisaan terbesar secara deterministik, sedangkan $m = 3$ dan $m = 5$ merepresentasikan pemilihan stokastik dari tiga atau lima sisaan terbesar. Dengan demikian, proses pencarian solusi tetap berbasis sisaan, tetapi tidak terkunci hanya pada satu kandidat perpindahan.



Evaluasi metode pada data *cross section* dilakukan melalui skenario simulasi berdasarkan jumlah gerombol, kondisi keterpisahan gerombol, dan jumlah iterasi. Kinerja metode dinilai menggunakan ukuran kecocokan model, efisiensi model, ketepatan pengelompokan, dan ketepatan pendugaan parameter. Ukuran evaluasi yang digunakan meliputi koefisien determinasi terkoreksi, kriteria informasi, ARI, dan akurasi gerombol. Analisis ragam dan perbandingan berpasangan juga digunakan untuk menguji perbedaan kinerja antar nilai m . Hasil evaluasi menunjukkan bahwa $m = 3$ dan $m = 5$ secara umum memberikan kinerja lebih baik dibandingkan $m = 1$. Perbandingan $m = 1$ dengan $m = 3$ serta $m = 1$ dengan $m = 5$ menunjukkan perbedaan yang nyata pada ketepatan pemulihan gerombol, sedangkan kinerja $m = 3$ dan $m = 5$ cenderung sebanding.

Hasil simulasi data *cross section* menunjukkan bahwa SRS-CLR-SA mampu memperbaiki kualitas pemodelan dibandingkan pendekatan deterministik. Metode yang dikembangkan cenderung menghasilkan kecocokan model yang lebih baik, kriteria informasi yang lebih rendah, ketepatan gerombol yang lebih tinggi, serta bias pendugaan parameter yang lebih rendah dan stabil. Temuan ini menunjukkan bahwa pemilihan acak dari beberapa sisaan terbesar dapat meningkatkan eksplorasi solusi dan mengurangi kekakuan algoritma dalam proses pencarian.

Pengembangan berikutnya dilakukan pada data panel *fixed effect*. Dalam struktur data panel, setiap unit diamati berulang pada beberapa periode, sehingga keterkaitan antarwaktu dari unit yang sama perlu dipertahankan. Pada SRS-CLR-SA panel *fixed effect*, keanggotaan gerombol ditetapkan pada level unit, bukan observasi. Sisaan juga dikembangkan menjadi sisaan panel, yaitu akumulasi ketidaksesuaian unit sepanjang periode pengamatan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode ini mampu bekerja pada skenario dua dan tiga gerombol, baik pada kondisi tidak tumpang tindih maupun tumpang tindih. Hasil tersebut menguatkan bahwa SRS-CLR-SA dapat diperluas dari data *cross section* ke data panel *fixed effect* dengan tetap menjaga konsistensi struktur longitudinal.

Implementasi empiris dilakukan pada data kemiskinan kabupaten/kota di Indonesia dan data akses sanitasi layak kabupaten/kota di Pulau Jawa tahun 2021–2023. Hasil implementasi menunjukkan bahwa pengaruh peubah penjelas tidak seragam antargerombol. Dengan demikian, faktor yang memengaruhi kemiskinan maupun akses sanitasi layak tidak bersifat tunggal dan tidak berlaku sama untuk seluruh wilayah. Secara umum, penelitian ini menunjukkan bahwa SRS-CLR-SA mampu memperbaiki proses optimasi pada *clusterwise regression*. Implikasi metodologisnya adalah tersedianya pendekatan *clusterwise regression* yang lebih fleksibel untuk data heterogen dan longitudinal. Implikasi substantifnya adalah bahwa kebijakan berbasis wilayah sebaiknya mempertimbangkan perbedaan pola hubungan antar kelompok wilayah agar intervensi dapat disusun lebih spesifik dan tepat sasaran.

Kata kunci: *clusterwise regression*, data panel, *fixed effects*, *simulated annealing*, *stochastic residual selection*



SUMMARY

LUH PUTU WIDYA ADNYANI. Development of a Fixed-Effect Clusterwise Linear Regression Model for Panel Data Using a Metaheuristic Approach. Supervised by ASEP SARFUDDIN, I MADE SUMERTAJAYA, and BAGUS SARTONO.

This study is motivated by the need for a modeling approach that can capture heterogeneity in the relationship patterns among observational units. In many cases, a single global regression model is not sufficient to explain all units, because different groups of observations may have distinct characteristics and distinct relationships between the response variable and the explanatory variables. A conventional approach, in which clustering is conducted first and regression modeling is then applied separately to each cluster, has an important limitation: the formation of clusters does not directly account for the regression model's goodness of fit. Therefore, an approach is needed that can perform clustering and regression modeling simultaneously.

The main challenge in clusterwise regression is its complex optimization process, as cluster membership determination and regression parameter estimation are performed simultaneously. Moving one unit from one cluster to another may change the regression parameters, residuals, and the objective function value. This condition increases the risk that the algorithm will become trapped in a local optimum, particularly when the data contain overlapping cluster structures. In addition, the development of clusterwise regression has generally focused on cross-sectional data, whereas many empirical datasets are structured as panel data. In panel data, the large number of parameters may make the model more complex and difficult to interpret. Thus, a method is required that can capture heterogeneity while still producing a more structured and interpretable model.

The objectives of this study are to develop a least-squares-based clusterwise regression methodology using a modified simulated annealing approach, to formulate clusterwise regression for fixed-effect panel data, and to apply the proposed method to empirical data. The novelty of this study lies in modifying the candidate unit selection mechanism via stochastic residual selection, in which one unit is randomly selected from the set of units with the largest residuals. Another novelty is the extension of this method to fixed-effect panel data by assigning unit-level cluster membership, so that all observations from the same unit remain in the same cluster throughout the observation period.

The proposed method is called stochastic residual selection–clusterwise linear regression– simulated annealing (SRS-CLR-SA). In the standard method, the candidate unit to be moved is selected deterministically based on the largest residual. In this study, the selection mechanism is modified by varying m , which represents the number of largest-residual candidates considered in the selection process. An initial simulation on cross-sectional data was conducted using $m = 1$, $m = 3$, and $m = 5$. The value $m = 1$ represents deterministic selection of the single largest residual, whereas $m = 3$ and $m = 5$ represent stochastic selection from the three or five largest residuals. In this way, the solution search process remains residual-based, but it is no longer locked into only one candidate move.





@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 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 2026
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.

PENGEMBANGAN MODEL *FIXED EFFECT CLUSTERWISE* *LINEAR REGRESSION* UNTUK DATA PANEL DENGAN PENDEKATAN METAHEURISTIK

LUH PUTU WIDYA ADNYANI

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Statistika dan Sains Data

**PROGRAM STUDI DOKTOR STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Dr. Yenni Angraini, S.Si., M.Si.
- 2 Dr. Farit Mochamad Afendi, S.Si., M.Si.



Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Dr. Yenni Angraini, S.Si., M.Si.
- 2 Dr. Siti Maimunah, S.Si., M.Si., M.A





Judul Disertasi: Pengembangan Model *Fixed Effect Clusterwise Linear Regression*
untuk Data Panel dengan Pendekatan Metaheuristik

Nama : Luh Putu Widya Adnyani
NIM : G1601202004

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Asep Saefuddin, M.Sc.



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. I Made Sumertajaya, M.Si.



Pembimbing 3:
Dr. Bagus Sartono, S.Si., M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Kusman Sadik, S.Si., M.Si.
NIP 196909121997021001



Dekan Sekolah Sains Data, Matematika, dan Informatika:
Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si.
NIP 196607021993021001



Tanggal Ujian: 9 Juli 2026

Tanggal Lulus:



@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.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Sang Hyang Widhi Wasa (Tuhan Yang Maha Esa) atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga disertasi yang berjudul “Pengembangan Model *Fixed Effect Clusterwise Linear Regression* untuk Data Panel dengan Pendekatan Metaheuristik” dapat diselesaikan. Disertasi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar doktor pada program studi Statistika dan Sain Data, sekolah Sain Data, Matematika dan Informatika, Institut Pertanian Bogor.

Disertasi ini dapat diselesaikan berkat doa, bimbingan, masukan, saran dan bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada:

1. Komisi pembimbing, Prof. Dr. Ir. Asep Saefuddin, M.Sc, Prof. Dr. Ir. I Made Sumertajaya, M.Si, dan Dr. Bagus Sartono, M.Si yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing serta memberikan saran dan juga motivasi dalam penyelesaian disertasi ini,
2. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor beserta jajarannya yang telah membantu memfasilitasi studi penulis,
3. Ketua Program Studi dan Bapak/Ibu dosen Program Studi Statistika dan Sains Data Institut Pertanian Bogor yang telah banyak memberikan ilmu, pencerahan, dan arahan selama masa perkuliahan,
4. Sekretariat Program Studi Statistika dan Sains Data Institut Pertanian Bogor yang dengan sabar selalu membantu segala proses administrasi dan informasi,
5. Teman-teman S3 Statistika IPB pada umumnya dan khususnya angkatan 2020 atas semangat dan kebersamaannya.

Ucapan terima kasih yang paling tulus penulis sampaikan kepada suami tercinta, Putu Sumarjaya, atas cinta, doa, kesabaran, pengertian, serta dukungan yang tidak pernah putus selama penulis menempuh pendidikan doctoral dan menyelesaikan disertasi ini. Terima kasih yang mendalam juga penulis sampaikan kepada kedua orang tua tercinta, Bapak I Wayan Redig dan Mama Made Pancarwati, serta kedua mertua Bapak Nyoman Sudarma dan Ibu Putu Sumiasih, atas kasih sayang, doa, nasihat, dan dukungan yang senantiasa menguatkan setiap langkah penulis. Kepada anak-anak tercinta, Putu Widyana Jaya Saskara dan Made Ayu Sandira Pratishta, terima kasih atas pengertian, kesabaran, cinta, dan semangat yang selalu diberikan. Kehadiran serta dukungan seluruh keluarga menjadi sumber kekuatan, motivasi, dan inspirasi terbesar bagi penulis dalam menyelesaikan pendidikan dan disertasi ini.

Penulis menyadari bahwa karya ilmiah ini masih memiliki berbagai keterbatasan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan dan pengembangan penelitian selanjutnya. Semoga karya ilmiah ini dapat memberikan manfaat bagi para akademisi, peneliti, praktisi, serta pihak-pihak yang membutuhkan, sekaligus memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang statistika dan analisis regresi bergeser.

Bogor, Juli 2026

Luh Putu Widya Adnyani



@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.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	7
1.4 Manfaat	7
1.5 Ruang Lingkup	7
1.6 Kebaruan (<i>novelty</i>)	8
1.7 Sistematika Disertasi	8
II TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 <i>Clusterwise Regression</i> /Regresi Bergerombol	11
2.2 Optimasi Metaheuristik	13
2.3 <i>Simulated Annealing</i>	14
2.4 Regresi Data Panel	14
2.5 <i>Clusterwise Linear Regression</i> pada Data Panel <i>Fixed Effect Model</i>	15
2.6 Ukuran Evaluasi Model	16
III PENGEMBANGAN ALGORITMA STOKASTIK <i>SIMULATED ANNEALING</i> PADA PEMODELAN CLUSTERWISE REGRESSION UNTUK DATA <i>CROSS SECTION</i>	19
3.1 Pendahuluan	19
3.2 Pengembangan Metode	21
3.3 Pembahasan Hasil Simulasi	29
3.4 Kesimpulan Hasil Simulasi	74
IV PENGEMBANGAN ALGORITMA STOKASTIK <i>SIMULATED ANNEALING</i> PADA PEMODELAN CLUSTERWISE REGRESSION UNTUK DATA PANEL	75
4.1 Pendahuluan	75
4.2 Perbedaan Struktur Data <i>Cross Section</i> dan Data Panel	77
4.3 Model Clusterwise regression untuk Data Panel <i>Fixed Effect</i>	80
4.4 Fungsi Objektif pada Panel <i>Fixed Effect Clusterwise Regression</i>	81
4.5 Sisaan Panel dan Pemilihan Kandidat SRS	82
4.6 Adaptasi Prosedur SRS-CLR-SA untuk Data Panel	84
4.7 Rancangan Simulasi Data Panel	85
4.8 Kesimpulan	103
V PENERAPAN PEMODELAN REGRESI GEROMBOL	105
5.1 Pendahuluan Penerapan Model <i>Cluster Regression</i> dengan <i>Simulated Annealing</i>	105
5.2 Penerapan Model pada Data <i>Cross Section</i> untuk Data Kemiskinan	106
5.3 Penerapan Model pada Data Panel	115
VI PEMBAHASAN UMUM	132



6.1	Pembahasan Hasil Kajian 1: Simulasi Data <i>Cross Section</i>	132
6.2	Pembahasan Hasil Kajian 2: Simulasi Data Panel <i>Fixed Effect</i>	133
6.3	Pembahasan Implementasi Empiris Dari Kajian 1 Dan Kajian 2	134
6.4	Sintesis Umum Antarkajian	136
6.5	Keterbatasan Penelitian	136
6.6	Arah Perbaikan dan Penelitian Lanjutan	137
6.7	Penutup	138
VII	SIMPULAN DAN SARAN	139
7.1	Simpulan	139
7.2	Saran	141
DAFTAR	PUSTAKA	143
RIWAYAT	HIDUP	148

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 umum simulasi <i>clusterwise regression</i> data <i>cross section</i>	30
2	Hasil Uji ANOVA untuk nilai <i>adjusted R²</i> pada simulasi dua gerombol tidak tumpang tindih	33
3	Hasil uji EMMeans untuk nilai <i>adjusted R²</i> pada simulasi dua gerombol tidak tumpang tindih <i>cross section</i>	33
4	Hasil Uji ANOVA untuk nilai AIC pada simulasi dua gerombol tidak tumpang tindih	35
5	Hasil uji EMMeans untuk nilai AIC pada simulasi dua gerombol tidak tumpang tindih <i>cross section</i>	35
6	Hasil Uji ANOVA untuk nilai BIC pada simulasi dua gerombol tidak tumpang tindih	36
7	Hasil uji EMMeans untuk nilai BIC pada simulasi dua gerombol tidak tumpang tindih <i>cross section</i>	36
8	Hasil Uji ANOVA untuk nilai ARI pada simulasi dua gerombol tidak tumpang tindih	38
9	Hasil uji EMMeans untuk nilai ARI pada simulasi dua gerombol tidak tumpang tindih <i>cross section</i>	38
10	Hasil Uji ANOVA untuk nilai akurasi gerombol pada simulasi dua gerombol tidak tumpang tindih	39
11	Hasil uji EMMeans untuk nilai akurasi gerombol pada simulasi dua gerombol tidak tumpang tindih <i>cross section</i>	39
12	Hasil Uji ANOVA untuk nilai <i>adjusted R²</i> pada simulasi dua gerombol tumpang tindih <i>cross section</i>	42
13	Hasil uji EMMeans untuk nilai <i>adjusted R²</i> pada simulasi dua gerombol tumpang tindih <i>cross section</i>	43
14	Hasil Uji ANOVA untuk nilai AIC pada simulasi dua gerombol tumpang tindih <i>cross section</i>	45
15	Hasil uji EMMeans untuk nilai AIC pada simulasi dua gerombol tumpang tindih <i>cross section</i>	45
16	Hasil Uji ANOVA untuk nilai BIC pada simulasi dua gerombol tumpang tindih <i>cross section</i>	46
17	Hasil uji EMMeans untuk nilai BIC pada simulasi dua gerombol tumpang tindih <i>cross section</i>	47
18	Hasil Uji ANOVA untuk nilai ARI pada simulasi dua gerombol tumpang tindih <i>cross section</i>	48
19	Hasil uji EMMeans untuk nilai ARI pada simulasi dua gerombol tumpang tindih <i>cross section</i>	49
20	Hasil Uji ANOVA untuk nilai akurasi gerombol pada simulasi dua gerombol tumpang tindih <i>cross section</i>	49
21	Hasil uji EMMeans untuk nilai akurasi gerombol pada simulasi dua gerombol tumpang tindih <i>cross section</i>	50
22	Hasil Uji ANOVA untuk nilai <i>adjusted R²</i> pada simulasi tiga gerombol tidak tumpang tindih <i>cross section</i>	53
23	Hasil uji EMMeans untuk nilai <i>adjusted R²</i> pada simulasi tiga gerombol tidak tumpang tindih <i>cross section</i>	54

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.

Hasil Uji ANOVA untuk nilai AIC pada simulasi tiga gerombol tidak tumpang tindih *cross section* 55

Hasil uji EMMeans untuk nilai AIC pada simulasi tiga gerombol tidak tumpang tindih *cross section* 56

Hasil Uji ANOVA untuk nilai BIC pada simulasi tiga gerombol tidak tumpang tindih *cross section* 57

Hasil uji EMMeans untuk nilai BIC pada simulasi tiga gerombol tidak tumpang tindih *cross section* 57

Hasil Uji ANOVA untuk nilai ARI pada simulasi tiga gerombol tidak tumpang tindih *cross section* 59

Hasil uji EMMeans untuk nilai ARI pada simulasi tiga gerombol tidak tumpang tindih *cross section* 60

Hasil Uji ANOVA untuk nilai akurasi gerombol pada simulasi tiga gerombol tidak tumpang tindih *cross section* 61

Hasil uji EMMeans untuk nilai akurasi gerombol pada simulasi tiga gerombol tidak tumpang tindih *cross section* 61

Hasil Uji ANOVA untuk nilai *adjusted R²* pada simulasi tiga gerombol tumpang tindih *cross section* 64

Hasil uji EMMeans untuk nilai *adjusted R²* pada simulasi tiga gerombol tumpang tindih *cross section* 65

Hasil Uji ANOVA untuk nilai AIC pada simulasi tiga gerombol tumpang tindih *cross section* 67

Hasil uji EMMeans untuk nilai AIC pada simulasi tiga gerombol tumpang tindih *cross section* 68

Hasil Uji ANOVA untuk nilai BIC pada simulasi tiga gerombol tumpang tindih *cross section* 68

Hasil uji EMMeans untuk nilai BIC pada simulasi tiga gerombol tumpang tindih *cross section* 69

Hasil Uji ANOVA untuk nilai ARI pada simulasi tiga gerombol tumpang tindih *cross section* 70

Hasil uji EMMeans untuk nilai ARI pada simulasi tiga gerombol tumpang tindih *cross section* 71

Hasil Uji ANOVA untuk nilai akurasi gerombol pada simulasi tiga gerombol tumpang tindih *cross section* 72

Hasil uji EMMeans untuk nilai akurasi gerombol pada simulasi tiga gerombol tumpang tindih *cross section* 72

Perbedaan struktur data *cross section* dan panel dalam SRS-CLR-SA 79

Rancangan simulasi data panel *fixed effect* 86

Hasil uji t untuk nilai *adjusted R²* pada simulasi dua gerombol panel tidak tumpang tindih 88

Hasil uji t untuk nilai AIC pada simulasi dua gerombol panel tidak tumpang tindih 89

Hasil uji t untuk nilai BIC pada simulasi dua gerombol panel tidak tumpang tindih 89

Hasil uji t untuk nilai ARI pada simulasi dua gerombol panel tidak tumpang tindih 90

Hasil uji t untuk nilai akurasi gerombol pada simulasi dua gerombol panel tidak tumpang tindih 90



49	Hasil uji t untuk nilai <i>adjusted R²</i> pada simulasi dua gerombol panel tumpang tindih	92
50	Hasil uji t untuk nilai AIC pada simulasi dua gerombol panel tumpang tindih	93
51	Hasil uji t untuk nilai BIC pada simulasi dua gerombol panel tumpang tindih	93
52	Hasil uji t untuk nilai ARI pada simulasi dua gerombol panel tumpang tindih	94
53	Hasil uji t untuk nilai akurasi gerombol pada simulasi dua gerombol panel tumpang tindih	94
54	Hasil uji t untuk nilai <i>adjusted R²</i> pada simulasi dua gerombol panel tumpang tindih	96
55	Hasil uji t untuk nilai AIC pada simulasi dua gerombol panel tumpang tindih	96
56	Hasil uji t untuk nilai BIC pada simulasi dua gerombol panel tumpang tindih	97
57	Hasil uji t untuk nilai ARI pada simulasi dua gerombol panel tumpang tindih	97
58	Hasil uji t untuk nilai akurasi gerombol pada simulasi dua gerombol panel tumpang tindih	98
59	Hasil uji t untuk nilai <i>adjusted R²</i> pada simulasi dua gerombol panel tumpang tindih	99
60	Hasil uji t untuk nilai AIC pada simulasi dua gerombol panel tumpang tindih	100
61	Hasil uji t untuk nilai BIC pada simulasi dua gerombol panel tumpang tindih	100
62	Hasil uji t untuk nilai akurasi gerombol pada simulasi dua gerombol panel tumpang tindih	101
63	Hasil uji t untuk nilai ARI pada simulasi dua gerombol panel tumpang tindih	101
64	Ringkasan kinerja SRS-CLR-SA pada seluruh skenario panel	102
65	Statistik deskriptif peubah penelitian	108
66	Nilai R^2 dan <i>adjusted R²</i> untuk berbagai jumlah gerombol	113
67	Hasil estimasi koefisien regresi pada masing-masing gerombol	114
68	Deskripsi peubah-peubah penelitian pada data panel	116
69	Statistik deskriptif peubah panel tahun 2021	116
70	Statistik deskriptif peubah panel tahun 2022	117
71	Statistik deskriptif peubah panel tahun 2023	117
72	Nilai <i>adjusted R-squared</i> , AIC, AICc, dan BIC untuk berbagai jumlah gerombol	125
73	Hasil estimasi koefisien model <i>fixed effects clusterwise panel regression</i> dengan 10 gerombol	127

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 GAMBAR

1	Perkembangan metode penelitian	6
2	<i>Flow chart clusterwise linear regression – simulated annealing</i>	27
3	Sebaran data simulasi dua gerombol pada kondisi tidak tumpang tindih <i>cross section</i>	31
4	Nilai <i>adjusted R²</i> dari model data tidak tumpang tindih dua gerombol <i>cross section</i>	32
5	Nilai (a) AIC dan (b) BIC dari model data tidak tumpang tindih dua gerombol <i>cross section</i>	34
6	Nilai (a) ARI dan (b) akurasi gerombol dari model data tidak tumpang tindih dua gerombol	37
7	Sebaran data simulasi dua gerombol pada kondisi tumpang tindih	41
8	Perbandingan nilai <i>adjusted R²</i> untuk SRS-CLR-SA standar dan modifikasi	42
9	Nilai (a) AIC dan (b) BIC dari model data tumpang tindih dua gerombol <i>cross section</i>	44
10	Nilai (a) ARI dan (b) akurasi gerombol dari model data tumpang tindih dua gerombol <i>cross section</i>	47
11	Visualisasi bangkitan tiga gerombol tidak tumpang tindih <i>cross section</i>	52
12	Perbandingan nilai <i>adjusted R²</i> metode CLR-SA standar dan metode SRS-CLR-SA	52
13	Nilai (a) AIC dan (b) BIC dari model data tidak tumpang tindih tiga gerombol	55
14	Nilai (a) ARI dan (b) akurasi gerombol dari model data tidak tumpang tindih tiga gerombol	58
15	Visualisasi bangkitan data tiga gerombol tumpang tindih <i>cross section</i>	63
16	Perbandingan nilai <i>adjusted R²</i> metode CLR-SA Standar dan Metode SRS-CLR-SA pada skenario tiga gerombol tumpang tindih <i>cross section</i>	63
17	Nilai (a) AIC dan (b) BIC dari model data tumpang tindih tiga gerombol <i>cross section</i>	66
18	Nilai (a) ARI dan (b) akurasi gerombol dari model data tumpang tindih tiga gerombol <i>cross section</i>	70
19	Visualisasi data panel dua gerombol tidak tumpang tindih	87
20	Perbandingan <i>adjusted R²</i> CLR-SA standar dan SRS-CLR-SA pada panel dua gerombol tidak tumpang tindih	87
21	Nilai (a) AIC dan (b) BIC CLR-SA Standar dan SRS-CLR-SA pada panel dua gerombol tidak tumpang tindih	88
22	Nilai (a) ARI dan (b) akurasi gerombol pada panel dua gerombol tidak tumpang tindih	89
23	Visualisasi data panel dua gerombol tumpang tindih	91
24	Perbandingan <i>adjusted R²</i> CLR-SA standar dan SRS-CLR-SA pada panel dua gerombol tumpang tindih	91
25	Perbandingan (a) AIC dan (b) BIC CLR-SA standar dan SRS-CLR-SA pada panel dua gerombol tumpang tindih	92



26	Perbandingan (a) ARI dan (b) akurasi gerombol pada panel dua gerombol tumpang tindih	93
27	Visualisasi data panel tiga gerombol tidak tumpang tindih	95
28	Perbandingan <i>adjusted R²</i> CLR-SA standar dan SRS-CLR-SA pada panel tiga gerombol tidak tumpang tindih	95
29	Nilai (a) AIC dan (b) BIC SA Standar dan SRS-CLR-SA panel tiga gerombol panel	96
30	Nilai (a) ARI dan (b) akurasi gerombol CLR-SA standar dan SRS-CLR-SA panel 3 gerombol tidak tumpang tindih	97
31	Visualisasi data panel tiga gerombol tumpang tindih	98
32	Perbandingan <i>adjusted R²</i> CLR-SA standar dan SRS-CLR-SA pada panel tiga gerombol tumpang tindih	99
33	Nilai (a) AIC dan (b) BIC SA standar dan SRS-CLR-SA data tumpang tindih tiga gerombol	100
34	Nilai (a) ARI dan (b) akurasi gerombol CLR-SA standar dan SRS-CLR-SA data tumpang tindih tiga gerombol panel	101
35	<i>Boxplot</i> peubah penelitian	109
36	<i>Heatmap</i> korelasi peubah penelitian	110
37	Peta distribusi tingkat kemiskinan kabupaten/kota di indonesia	111
38	Grafik perubahan <i>adjusted R²</i> terhadap jumlah gerombol	113
39	Peta hasil gerombolisasi kabupaten/kota berdasarkan CLR-SA modifikasi	114
40	<i>Boxplot</i> akses sanitasi layak (Y) tahun 2021–2023	118
41	<i>Boxplot</i> persentase penduduk miskin (X_1) tahun 2021–2023	118
42	<i>Boxplot</i> rata-rata lama sekolah (X_2) tahun 2021–2023	119
43	<i>Boxplot</i> pengeluaran per kapita (X_3) tahun 2021–2023	119
44	<i>Boxplot</i> tingkat pengangguran terbuka (X_4) tahun 2021–2023	120
45	<i>Heatmap</i> korelasi peubah tahun 2021	120
46	<i>Heatmap</i> korelasi peubah tahun 2022	121
47	<i>Heatmap</i> korelasi peubah tahun 2023	121
48	Peta akses sanitasi layak tahun 2021	122
49	Peta akses sanitasi layak tahun 2022	123
50	Peta akses sanitasi layak tahun 2023	123
51	Diagram alur pemodelan <i>fixed effects clusterwise regression</i> dengan SRS-SA	124
52	Grafik (a) <i>adjusted R²</i> dan (b) AIC, AICc, BIC untuk berbagai jumlah gerombol	126
53	Peta distribusi hasil gerombolisasi panel dengan 10 gerombol	131

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.