

MODEL REGRESI *MULTILEVEL* PEUBAH GANDA DENGAN *INTERCEPT-SLOPE* ACAK DAN PEUBAH LATEN UNTUK DATA LONGITUDINAL

KHALILAH NURFADILAH



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

@Hak cipta milik IPB University

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.



@Hak cipta milik IPB University

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 “**Model Regresi Multilevel Peubah Ganda dengan Intercept-Slope Acak dan Peubah Laten untuk Data Longitudinal** (*Multivariate Multilevel Regression Model with Random Intercept-Slope and Latent Variables for Longitudinal Data*)” 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, November 2024

Khalilah Nurfadilah
G161180041



@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.

RINGKASAN

KHALILAH NURFADILAH. Model Regresi *Multilevel* Peubah Ganda dengan *Intercept-Slope* Acak dan Peubah Laten untuk Data Longitudinal. Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Muhammad Nur Aidi, MS, Prof. Dr. Ir. Khairil A. Notodiputro, MS, dan Dr. Ir. Budi Susetyo, MS.

Data longitudinal merupakan hasil pengukuran berulang terhadap beberapa individu. Dalam penerapannya, data dengan struktur seperti ini banyak ditemukan di beberapa bidang, salah satunya dalam bidang pendidikan. Dengan menggunakan data longitudinal, perubahan karakteristik individu di lintas waktu dapat diukur dan diidentifikasi. Dalam kehidupan praktis, pada umumnya subjek penelitian merupakan bagian dari suatu kelompok, sehingga pengukuran terhadap individu di dalam kelompok tidak dapat dilepaskan dari berbagai sifat kelompoknya. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk memodelkan data dengan karakteristik seperti ini adalah model regresi *multilevel*. Pengukuran berulang terhadap individu yang merupakan bagian dari suatu kelompok dapat dilakukan menggunakan model regresi *multilevel* dengan penambahan level. Dalam hal ini, pengukuran berulang diposisikan sebagai level satu, individu sebagai level dua, dan kelompok sebagai level tiga. Pada kenyataannya, seorang peneliti seringkali dihadapkan pada peubah respon yang tidak tunggal, atau disebut dengan peubah ganda (*multivariate*). Dalam konteks pendekatan *multilevel*, kehadiran peubah ganda akan menambah tingkatan dari modelnya, yaitu dari tiga menjadi empat level.

Kajian pertama dalam disertasi ini membahas tentang model *multilevel* peubah ganda untuk data longitudinal dengan pengembangan *intercept-slope* acak di level kelompok. Kajian ini merupakan landasan untuk mengembangkan model yang dibahas dalam kajian dua. Di dalamnya juga dilakukan simulasi terhadap kombinasi ukuran kelompok (J) dan ukuran individu dalam kelompok (n_j). Dari hasil simulasi ini diperoleh fakta bahwa kondisi terbaik dihasilkan oleh kombinasi $J > n_j$. Kombinasi ini ternyata menghasilkan nilai bias relatif yang paling kecil, titik pencilan yang lebih sedikit, dan sebaran nilai dugaan yang relatif lebih stabil dibandingkan dengan dua kondisi lainnya. Hasil ini kemudian dijadikan rekomendasi terhadap pemilihan ukuran sampel di kajian empiris. Dalam kajian empiris ini, dilakukan eksplorasi terhadap *trend* serta determinan yang mempengaruhi nilai UN Bahasa Indonesia, Bahasa Inggris, Matematika, dan IPA di tingkat SMP. Pemodelan dilakukan secara rekursif dan diperoleh kesimpulan bahwa nilai UN mengalami penurunan. Hal ini ditunjukkan oleh hasil dugaan peubah T yang bernilai negatif. Selanjutnya, secara internal di level sekolah, determinan yang berpengaruh adalah status sekolah (X_1), persentase guru bersertifikat (X_1^t), dan ketersediaan laboratorium (X_3^t). Secara eksternal di level kabupaten/kota, determinan yang mempengaruhi nilai UN adalah Harapan Lama Sekolah (S_2) dan IPM (S_3).

Kajian kedua dalam disertasi ini mengembangkan model regresi *multilevel* peubah ganda dengan peubah laten untuk data longitudinal dengan pengembangan *intercept-slope* acak. Model ini di dengan nama *Multivariate Multilevel Longitudinal Factor Regression Model* (MMLFRM). Kajian ini dilatarbelakangi oleh adanya perkembangan pesat terhadap ukuran data, interkorelasi, kompleksitas, dan keingintahuan peneliti terhadap berbagai *trend* dan informasi yang terkandung dalam data. Dalam kajian ini dikembangkan model dengan karakteristik yang serupa dengan model MMLRM pada kajian 1, namun mengalami perluasan untuk data yang mengakomodir adanya struktur laten di peubah responnya, yaitu model *multilevel confirmatory factor analysis* (Multilevel CFA). Selain dapat memperoleh informasi tentang determinan yang mempengaruhi peubah respon di lintas level, secara simultan juga dapat diperoleh validasi ataupun konfirmasi terhadap struktur laten *multilevel* yang terdapat di dalam model. Dalam kajian ini dibangun dua model MMLFRM yang

bersesuaian dengan kecenderungan data empiris, yaitu MMLFRM (2-2) dan MMLFRM (2-1). Dilakukan pendugaan parameter model. Untuk komponen tetap, pendugaan parameter menggunakan metode MLE, sedangkan untuk komponen acak, pendugaan parameter menggunakan metode REML dengan prosedur iterasi *Average Information* (AI). Selanjutnya dilakukan simulasi untuk mengukur performa dari kedua model ini. Model terbaik dipilih berdasarkan nilai RBias, AIC, BIC, dan loglikelihood terkecil. Dari hasil analisis, diperoleh nilai RBias untuk model MMLFRM (2-1) sebesar $9,79 \times 10^{-14}$, sedangkan untuk model MMLFRM (2-2) diperoleh nilai sebesar 0,02. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa model terbaik adalah model MMLFRM (2-1).

Berikutnya, kajian 3, yaitu kajian empiris untuk mengukur determinan yang mempengaruhi nilai UN di tingkat SMP dan validasi terhadap struktur laten multilevel yang terkandung di dalam peubah respon. Tahapan analisis dengan tiga peubah respon dan dengan metode pendugaan parameter REML dengan prosedur iterasi AI. Analisis diawali dengan pendugaan parameter model MMLRM yang kemudian dilanjutkan dengan analisis multilevel CFA. Analisis multilevel CFA ini dilakukan di masing-masing tahun, yaitu 2016, 2017 dan 2018. Nilai-nilai *loading factor* tersebut kemudian digunakan untuk menduga skor factor di model MMLFRM (2-2) dan MMLFRM (2-1). Setelah diperoleh skor factor, tahapan selanjutnya adalah memodelkan data dengan dua model pendekatan yang telah dirumuskan terdahulu. Selanjutnya, dilakukan pemilihan model terbaik. Diperoleh kesimpulan bahwa model terbaik adalah model MMLFRM (2-2). Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa *trend* nilai UN tahun 2016-2018 cenderung menurun karena diperoleh nilai dugaan T yang negatif. Determinan yang berpengaruh signifikan terhadap nilai UN adalah status sekolah (X_1), persentase jumlah guru berpendidikan D4 atau S1 (X_2^t), rasio jumlah laboratorium terhadap jumlah siswa (X_3^t); faktor 1 dengan indikator Bahasa Inggris dan faktor 2 dengan indikator Matematika dan IPA di level sekolah ($f_1^{(3)}, f_2^{(3)}$), dan faktor 2 dengan indikator Matematika dan IPA di level kabupaten/kota ($f_2^{(4)}$). Setelah dilakukan pendugaan dan pengujian terhadap komponen tetap, tahapan selanjutnya adalah pendugaan terhadap komponen acak. Diperoleh matriks simetris yang masing-masing entrinya menunjukkan ragam-peragam terhadap masing-masing komponen acak ($\hat{\sigma}_{\gamma_{10}}^2, \hat{\sigma}_{\gamma_{11}}^2, \hat{\sigma}_{\gamma_{12}}^2, \hat{\sigma}_{\gamma_{13}}^2, \hat{\sigma}_\varepsilon^2$) dari tiga peubah respon.

Kata kunci: Data Longitudinal, Multilevel CFA, MMLFRM, MMLRM, Regresi Multilevel

SUMMARY

KHALILAH NURFADILAH. **Multivariate Multilevel Regression Model with Random Intercept-Slope and Latent Variables for Longitudinal Data.**

Supervised by Prof. Dr. Ir. Muhammad Nur Aidi, MS, Prof. Dr. Ir. Khairil A. Notodiputro, MS, and Dr. Ir. Budi Susetyo, MS.

Longitudinal data is the result of repeated measurements of several individuals. In its application, data with this structure is found in several fields, one of which is in the field of education. Using longitudinal data, changes in individual characteristics across time can be measured and identified. In practical life, research subjects are generally part of a group, so the measurement of individuals in the group cannot be separated from the various characteristics of the group. One approach that can be used to model data with these characteristics is the multilevel regression model. Repeated measurements of individuals who are part of a group can be performed using multilevel regression models, with the addition of levels. In this case, repeated measures were positioned as level one, individuals as level two, and groups as level three. In reality, researchers are often faced with response variables that are multivariate. In the context of the multilevel approach, the presence of multiple variables increases the level of the model from three to four.

The first study in this dissertation discusses a multilevel multiple-variable model for longitudinal data with random intercept-slope development at the group level. This study is the foundation for developing the model discussed in study two. It also simulates the combination of the group size (J) and individual group size (n_j). From the simulation results, it was found that the best condition was generated by the combination of $J > n_j$, which resulted in the smallest relative bias, fewer outlier points, and a relatively more stable distribution of estimated values compared with the other two conditions, which were then used as recommendations for sample size selection in the empirical study. In the empirical study, the determinants of the Indonesian language, English language, mathematics, and science exam scores at the junior high school level were explored. The modeling was done recursively and it was concluded that the UN value has decreased. Furthermore, internally, at the school level, the influential determinants are school status (X_1), percentage of certified teachers (X_1^t), and laboratory availability (X_3^t). Externally, at the district/city level, the determinants that influence UN scores are Expected Years of Schooling (S_2) and HDI (S_3).

The second study in this dissertation develops a Multivariate Multilevel Longitudinal Factor Regression Model (MMLFRM), a multilevel regression model for multiple variables with latent variables suited for longitudinal data, incorporating random intercept-slope effects. This study is driven by rapid growth in data volume, intercorrelations, complexity, and researchers' curiosity about *trends* and insights contained within the data. The model in this study shares similarities with the Multivariate Multilevel Longitudinal Regression Model (MMLRM) in Study 1 but expands to accommodate latent structures within response variables through a multilevel confirmatory factor analysis (Multilevel CFA) approach. This extension enables not only the identification of determinants affecting response variables across levels but also simultaneous validation or confirmation of the multilevel latent structure within the model. In this study, two versions of the MMLFRM model were developed based on trends in empirical data: MMLFRM (2-2) and MMLFRM (2-1). Parameter estimation was conducted using the Maximum Likelihood Estimation (MLE) method for fixed components and the Restricted Maximum Likelihood (REML) method with an Average Information (AI) iterative procedure for random components. Simulations were subsequently performed to assess the performance of both models. The best model was chosen based on criteria including RBias, AIC, BIC, and the smallest log-

likelihood value. Analysis results show that the RBias value for the MMLFRM (2-1) model is $9,79 \times 10^{-14}$, and for the MMLFRM (2-2) model is 0,02. Based on these findings, the MMLFRM (2-1) model is concluded to be the best-performing model.

Following this, Study 3 undertakes an empirical analysis to identify the determinants that affect junior high school national examination (UN) scores and to validate the multilevel latent structure within the response variables. The analysis process begins by estimating the loading factors for the longitudinal multilevel confirmatory factor analysis (CFA) model. Subsequently, comprehensive parameter estimation is conducted for the full MMLFRM model. For comparative purposes with Study 1, this study applies two models: MMLFRM (2-1), and MMLFRM (2-2). Following model selection, the MMLFRM (2-2) model is determined to be the optimal choice. The analysis results indicate a downward trend in UN scores from 2016 to 2018, shown by a negative estimated T . Significant determinants influencing UN scores include school status (X_1), the percentage of teachers with a D4 or bachelor's degree (X_2^t), and the laboratory-to-student ratio (X_3^t). Additional significant factors are: factor 1, with English as an indicator, and factor 2, with Mathematics and Science as indicators at the school level ($f_1^{(3)}, f_2^{(3)}$), as well as factor 2, with Mathematics and Science indicators at the district level ($f_2^{(4)}$). After estimating and testing the fixed components, the next stage involves estimating the random components. This results in a symmetric matrix, where each entry represents the variances and covariances for each random component ($\hat{\sigma}_{\gamma_{10}}^2, \hat{\sigma}_{\gamma_{11}}^2, \hat{\sigma}_{\gamma_{12}}^2, \hat{\sigma}_{\gamma_{13}}^2, \hat{\sigma}_{\varepsilon}^2$) associated with the three response variables.

Keywords: Longitudinal Data, Multilevel CFA, MMLRM, MMLFRM, Multilevel Regression



MODEL REGRESI MULTILEVEL PEUBAH GANDA DENGAN *INTERCEPT-SLOPE* ACAK DAN PEUBAH LATEN UNTUK DATA LONGITUDINAL

KHALILAH NURFADILAH

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Statistika dan Sains Data
© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025¹
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.

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

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

1. Dr. Ir. I Made Sumertajaya, M.Si
2. Dr. Bagus Sartono, S.Si., M.Si



Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

1. Dr. Rosmini Amin, M.Th.I
2. Dr. Ir. I Made Sumertajaya, M.Si





Judul Disertasi: MODEL REGRESI MULTILEVEL PEUBAH GANDA
DENGAN *INTERCEPT-SLOPE* ACAK DAN PEUBAH LATEN UNTUK
DATA LONGITUDINAL (*Multivariate Multilevel Regression Model with
Random Intercept-Slope and Latent Variables for Longitudinal Data*)

Nama : Khalilah Nurfadilah
NIM : G161180041

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Muhammad Nur Aidi, MS

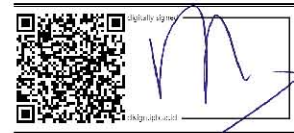
Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Khairil A. Notodiputro, MS

Pembimbing 3:
Dr. Ir. Budi Susetyo, MS



Digitally signed by:
Muhammad Nur Aidi

Date: 16 Jan 2025 12:33:37 WIB
Verity at id.signtool.se.id



Diketahui oleh

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

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



Tanggal Ujian:
(22 Agustus 2024)

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam disertasi ini berjudul “Model Regresi *Multilevel* Peubah Ganda dengan *Intercept-Slope* Acak dan Peubah Laten untuk Data Longitudinal”. Penulis menyadari bahwa disertasi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Para pembimbing, Prof. Dr. Ir, Muhammad Nur Aidi, MS, Prof. Dr. Ir. Khairil A. Notodiputro, MS, dan Dr. Ir. Budi Susetyo, MS yang telah membimbing dan banyak memberi saran.
2. Penguji luar komisi Dr. Ir. I Made Sumertajaya, MS, dan Dr. Bagus Sartono, S. Si., M.Si atas saran dan masukannya.
3. Rektor, Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Ketua Jurusan Matematika FST Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melanjutkan pendidikan doktor di IPB.
4. Kementerian Agama RI atas program 5000 Doktor, yang merupakan sponsor kuliah utama penulis.
5. Bapak Ibu dosen Jurusan Matematika FST UIN Alauddin Makassar atas doa dan dukungannya.
6. Ketua program studi, dosen-dosen, serta staff Departemen Statistika dan Sains Data IPB yang telah memfasilitasi penulis dengan ilmu pengetahuan, serta kebutuhan penulis selama kuliah di IPB.
7. Ayahanda terhormat (alm. Prof. Dr. H. Baso Midong, MA), ibunda terkasih (Hj. St. Nasirah Wahab), Bapak dan Ibu mertua (H. Muh. Natsir, S.Sos, dan Nurhayati), suami tercinta (Muhamad Aslam Nas, S.Si, M.Si), anak-anak tersayang (Sofia, Rinra, Ruby), serta seluruh keluarga besar, atas kasih sayang dan ketulusan yang telah diberikan kepada penulis.
8. Teman-teman STK 2018, teman-teman Geng Cucurak dan keluarga besar Pascasarjana STK IPB.
9. Pak Asfar, Kak Yuli, Mas Asri, Terima kasih untuk diskusinya yang selalu menjadi titik terang bagi “kemacetan” dalam berdisertasi.

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

Bogor, November 2024

Khalilah Nurfadilah

DAFTAR ISI

PRAKATA	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Pertanyaan Penelitian	4
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.5 Kerangka Kerja Penelitian	6
1.6 Kebaruan (<i>novelty</i>)	7
1.7 Sistematika Disertasi	8
II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Analisis Multilevel	10
2.2 Model Faktor Multilevel	16
2.3 Model Multilevel Faktor dengan <i>Covariate</i>	25
III Model regresi multilevel peubah ganda dengan <i>intercept-slope</i> acak untuk data longitudinal dalam menduga faktor-faktor yang mempengaruhi nilai Ujian Nasional	28
3.1 Pendahuluan	28
3.2 Spesifikasi Model dan Pendugaan	29
3.3 Hasil dan Pembahasan	38
3.4 Kesimpulan	53
IV Model Regresi Faktor Peubah Ganda Bertingkat dengan <i>Intercept-Slope</i> Acak untuk Data Longitudinal	55
4.1 Pendahuluan	55
4.2 Spesifikasi Model dan Pendugaan	56
4.3 Hasil dan Pembahasan	64
4.4 Kesimpulan	68
V Kajian empiris Model Regresi Faktor Peubah Ganda Bertingkat Intercept-Slope Acak untuk Data Longitudinal	70
5.1 Pendahuluan	70
5.2 Prosedur Analisis	70
5.3 Pembahasan	80
5.4 Simpulan	83
VI PEMBAHASAN UMUM	84
VII SIMPULAN DAN SARAN	89
7.1 Simpulan	89
7.2 Saran	89
DAFTAR PUSTAKA	91

LAMPIRAN

96

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi model Faktor dua level	24
Tabel 3. 1 Peubah Penelitian di Setiap Level Model	36
Tabel 3. 2 Nilai Rataan Bias (RB) dan Rataan MSE (RMSE) dugaan parameter	41
Tabel 3. 3 Hasil Uji Berpasangan	44
Tabel 3. 4 Nilai Dugaan Komponen Tetap Model dari Data Empiris	45
Tabel 3. 5 Komponen Acak Galat level Sekolah dan Kabupaten/Kota	51
Tabel 3. 6 Peubah respon, <i>covariate</i> dan dugaan parameter model <i>M3</i>	52
Tabel 4. 1 Nilai Bias dan MSE model	67
Tabel 4. 2 Rataan Bias (RB) dan Rataan MSE (RMSE) Model	67
Tabel 4. 3 Kriteria kebaikan model MMLFRM	68
Tabel 5. 1 Peubah Penelitian di setiap level	71
Tabel 5. 2 Dugaan Parameter model MMLRM	71
Tabel 5. 3 Penduga Parameter Model Multilevel CFA (2-2)	73
Tabel 5. 4 Model multilevel CFA (2-1)	75
Tabel 5. 5 Nilai uji Pillai untuk MMLRM	76
Tabel 5. 6 Nilai uji Pillai untuk MMLFRM (2-2)	77
Tabel 5. 7 Nilai uji Pillai untuk MMLFRM (2-1)	77
Tabel 5. 8 Dugaan parameter model MMLRM, MMLFRM (2-2) dan MMLFRM (2-1)	78
Tabel 5. 9 Likelihood ratio test MMLFRM (2-2) vs MMLFRM (2-1)	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kerangka kerja penelitian	7
Gambar 2. 1 Ilustrasi struktur hierarki siswa tersarang di dalam kelas	10
Gambar 2.2 Ilustrasi struktur hierarki karyawan tersarang di dalam departemen dan firma	11
Gambar 2. 3 Struktur Path model Analisis Faktor level tunggal	18
Gambar 3. 1 Struktur Multilevel dari MMLRM	31
Gambar 3. 2 Boxplot Nilai Dugaan Parameter untuk $J > nj$	38
Gambar 3. 3 Boxplot Nilai Dugaan Parameter untuk $J = nj$	39
Gambar 3. 4 Boxplot Nilai Dugaan Parameter untuk $J < nj$	40
Gambar 3. 5 Nilai rataan UN tahun 2016-2018	46
Gambar 3. 6 Nilai rataan UN tahun 2016-2018 berdasarkan status sekolah	47
Gambar 3. 7 Plot hubungan persentase guru bersertifikat dengan nilai rataan UN tahun 2016-2018	48
Gambar 3. 8 Plot hubungan nilai HLS dengan nilai rataan UN tahun 2016-2018	49
Gambar 3. 9 Plot hubungan nilai IPM dengan nilai rataan UN tahun 2016-2018	50

Gambar 3. 10 Plot hubungan kategori IPM dengan nilai rata-rata UN	51
Gambar 4. 1 Diagram Path model multilevel CFA (2-2)	57
Gambar 4. 2 Diagram Path model Multilevel CFA (2-1)	58
Gambar 4. 3 Flowchart Tahapan Analisis Kajian-2	63
Gambar 4. 4 Boxplot nilai dugaan parameter model MMLRM	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 5 Boxplot nilai dugaan parameter model MMLFRM (2-1)	65
Gambar 4. 6 Boxplot nilai dugaan parameter model MMLFRM (2-2)	66
Gambar 5. 1 Plot korelasi perubahan respon	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Sintaks simulasi model MMLRM	97
Lampiran 2 Sintaks Simulasi Model MMLFR	104
Lampiran 3 Sintaks empiris kajian-3	111
Lampiran 4 Nilai Prediksi Model MMLFRM kajian 3	119