

# **PENGEMBANGAN N-LEVEL STRUCTURAL EQUATION MODEL (NSEM) MENGGUNAKAN PARAMETER *DRIFT* UNTUK DATA KOMPLEKS DENGAN WAKTU PENGUKURAN TIDAK TERATUR**

**VIARTI EMINITA**



**PROGRAM STUDI STATISTIKA DAN SAINS DATA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2024**

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



*@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.



## PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Pengembangan *n-Level Structural Equation Model (nSEM)* Menggunakan Parameter *Drift* untuk Data Kompleks dengan Waktu Pengukuran Tidak Teratur” 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, September 2024

Viarti Eminita  
G161180011

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

VIARTI EMINITA. Pengembangan *n-Level Structural Equation Model (nSEM)* Menggunakan Parameter *Drift* untuk Data Kompleks dengan Waktu Pengukuran Tidak Teratur. Dibimbing oleh ASEP SAEFUDDIN, KUSMAN SADIK, dan UTAMI DYAH SYAFITRI.

Data kompleks merujuk pada tingkat kesulitan metodologis dari seperangkat data yang berkaitan dengan peubah laten, tersarang, berstruktur dan pengukuran longitudinal. Struktur data ini dapat berupa hierarki dengan komponen campuran, yakni komponen sistematis dan komponen acak. Beberapa pendekatan seperti *Confirmatory Factor Analysis (CFA)*, *Structural Equation Model (SEM)*, dan *Multilevel Modeling (MLM)* telah dikombinasikan menjadi *n-Level SEM (nSEM)* untuk menangani data kompleks khususnya data tersarang dan longitudinal. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model *nSEM* yang mencakup pengukuran dengan waktu yang tidak teratur melalui pendekatan *CT-SEM* berbasis pada pendekatan analitik, simulasi, dan aplikasi data empiris. Dalam penelitian ini, data empiris dari motivasi belajar siswa di Depok dan Ujian Nasional (UN) di Jawa Barat tahun 2015-2019 digunakan untuk menguji dan mengonfirmasi model yang dikembangkan, serta untuk menilai perkembangan kualitas sekolah. Pendekatan ini diharapkan dapat mengatasi tantangan dalam mengelola data dengan struktur hierarki dan pengukuran waktu yang tidak teratur, yang sering kali menghasilkan penduga parameter berbias dan galat baku yang besar jika tidak ditangani dengan tepat.

Pengembangan model *nSEM* untuk data kompleks melalui tiga tahapan. Tahap pertama mengkaji model *nSEM* untuk data kompleks dengan faktor acak dari struktur hierarki. Tahapan kedua mengkaji model *nSEM* pada data dengan waktu pengukuran teratur. Tahapan ketiga mengembangkan model *CT-MLGM* untuk mengatasi faktor acak dan waktu pengukuran tidak teratur.

Kajian pertama terhadap model *nSEM* pada data kompleks ini meneliti faktor acak dalam data hierarki menggunakan model intersep acak laten (LatenIA). Melalui pendekatan simulasi, kinerja model diuji pada berbagai ukuran contoh dengan rasio jumlah lingkungan dan ukuran lingkungan 10/30, 10/100, 25/30, dan 25/100. Kinerja model dievaluasi berdasarkan bias dan *Root Mean Square Error (RMSE)* dari penduga. Hasil analisis menunjukkan bahwa model LatenIA menghasilkan pendugaan parameter dengan bias dan *RMSE* lebih kecil pada ukuran contoh 25/30. Penerapan model LatenIA pada data motivasi belajar siswa dan data UN Sekolah mengkonfirmasi kemampuannya dalam mengatasi pengaruh acak lingkungan, yaitu pengaruh guru terhadap motivasi belajar siswa dan pengaruh kabupaten terhadap kualitas sekolah berdasarkan hasil UN.

Kajian kedua dalam penelitian ini mengevaluasi model *nSEM* pada data kompleks dengan pengukuran waktu yang teratur, menggunakan pendekatan *Multilevel Latent Growth Model (MLGM)* untuk mengakomodasi perubahan peubah hasil dari waktu ke waktu. Model *Latent Growth Model (LGM)* pada Level-1 menangkap ragam antar individu dalam lingkungan pada awal pengamatan (intersep waktu) dan ragam perubahan antar individu dari waktu ke waktu (*slope* waktu). Simulasi menunjukkan bahwa model ini efektif dalam mengatasi perubahan ukuran contoh, dengan ukuran contoh 60/30 menghasilkan penduga

parameter yang tidak bias dan minimum ragam, terutama untuk parameter tetap. Aplikasi MLGM pada data UN sekolah 2015-2019 mengkonfirmasi bahwa model ini menghasilkan penduga parameter dengan galat baku kecil. Berdasarkan hasil simulasi dan aplikasi data, penting untuk mempertimbangkan jumlah dan ukuran lingkungan serta faktor kontekstual seperti kabupaten dalam penerapan model  $nSEM$ , untuk memastikan model yang tepat, akurat, relevan, dan dapat diimplementasikan secara efektif. Seperti dalam kerangka SEM umum, modifikasi indeks diperlukan untuk mencapai model yang sesuai.

Pengembangan model  $CT-MLGM$  menggunakan parameter *drift* dari  $CT-SEM$  ke dalam kerangka  $nSEM$  untuk menangani data longitudinal dengan waktu pengukuran yang tidak teratur, menggunakan persamaan diferensial stokastik untuk menghubungkan model waktu diskrit dengan waktu kontinu. Pengembangan ini dimulai dengan menerapkan parameter *drift* pada koefisien linier waktu dari  $LGM$ , yang berfungsi sebagai faktor pengganda pada koefisien regresi di setiap titik waktu pengamatan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa  $CT-MLGM$  konsisten dengan temuan pada  $MLGM$ , dengan performa optimal pada rasio ukuran contoh 60/30.  $CT-MLGM$  cenderung lebih unggul pada ukuran contoh besar, menghasilkan penduga parameter tetap yang akurat dan presisi, meskipun koefisien intersep dan slope waktu menunjukkan ragam penduga yang besar. Keunggulan  $CT-MLGM$  dibandingkan  $MLGM$  terlihat juga pada pendugaan ragam intersep acak lingkungan di Level-2.

Aplikasi model pada data UN di Jawa Barat memberikan hasil bahwa model mampu mengatasi data kompleks dengan pengukuran waktu tidak teratur.  $MLGM$  cenderung memberikan nilai penduga parameter tetap yang lebih tinggi dengan selang kepercayaan yang lebih sempit dibanding  $CT-MLGM$ . Kedua model menunjukkan nilai penduga yang sangat mirip untuk beberapa parameter, meskipun terdapat beberapa perbedaan.  $MLGM$  menunjukkan kesesuaian model yang sedikit lebih kecil dibanding  $CT-MLGM$  berdasarkan  $-2 \text{ Log Likelihood } (-2LL)$ ,  $AIC$ , dan  $BIC$ . Namun identifikasi model pada  $CT-MLGM$  lebih stabil dalam mendeteksi dugaan parameter yang lebih kecil dibanding  $MLGM$ .

Setiap kajian dalam penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam memahami dan mengatasi tantangan dalam analisis data kompleks. Dengan mempertimbangkan faktor acak dan pengukuran temporal, model-model ini mampu memberikan pendugaan parameter yang lebih akurat dan stabil, terutama pada pendugaan pengaruh tetap. Integrasi antara  $nSEM$  dan  $CT-SEM$  menciptakan peluang baru dalam metodologi statistik, memungkinkan analisis lebih akurat dan informatif untuk data dengan struktur hierarki dan dimensi waktu yang kompleks, sehingga memberikan wawasan yang lebih mendalam bagi peneliti. Keseluruhan penelitian ini mengarah pada kesimpulan bahwa pendekatan  $nSEM$  merupakan alat yang kuat dan fleksibel untuk analisis data kompleks dalam berbagai konteks penelitian. Terutama  $CT-MLGM$  untuk kasus pengamatan berulang tidak teratur. Meskipun masih diperlukan kajian mendalam terkait parameter acak secara individual.

Kata kunci:  $CT-SEM$ , data kompleks,  $nSEM$ , waktu pengukuran tidak teratur.





## SUMMARY

VIARTI EMINITA. Developing N-Level Structural Equation Model (nSEM) Using Drift Parameter for Complex Data with Irregular Measurement Times. Supervised by ASEP SAEFUDDIN, KUSMAN SADIK, and UTAMI DYAH SYAFITRI.

Complex data refers to the level of methodological difficulty of a data set related to latent, nested, structured variables and longitudinal measurements. This data structure can be hierarchical with mixed components: systematic and random. Several approaches, such as Confirmatory Factor Analysis (CFA), Structural Equation Model (SEM), and Multilevel Modeling (MLM), have been combined into n-level SEM (nSEM) to handle complex data, especially nested and longitudinal data. This study aimed to develop an nSEM model that includes measurements with irregular time through the CT-SEM approach based on analytical approaches, simulations, and empirical data applications. This study used empirical data from student learning motivation in Depok and the National Examination (UN) in West Java in 2015–2019 to test and confirm the developed model and assess the development of school quality. This approach was expected to overcome the challenges of managing data with a hierarchical structure and irregular time measurements, often resulting in biased parameter estimates and large standard errors if improperly handled. The development of the nSEM model for complex data went through several stages, namely (1) examining the nSEM model for complex data with random factors from the hierarchical structure, (2) examining the nSEM model on data with regular measurement times, and (3) developing the *CT-MLGM* model to overcome random factors and irregular measurement times.

The first study of the nSEM model on complex data examined random factors in hierarchical data using the latent random intercept (LatenIA) model. Through simulations, model performance was tested on various sample sizes with the ratio of the number of environments to the size of the environment ( $m/n$ ) of 10/30, 10/100, 25/30, and 25/100. The results showed best performance at a sample size of 25/30. The application of the LatenIA model to student learning motivation data and school national examination data confirmed its ability to overcome the random effects of environmental factors, namely the influence of teachers on student learning motivation and the influence of districts on school quality based on national examination results.

The second study evaluated the nSEM model on complex data with regular time measurements, using the Multilevel Latent Growth Model (MLGM) approach to accommodate changes in outcome variables over time. The Latent Growth Model (LGM) at Level 1 captured the variance between individuals in the environment at the beginning of the observation (time intercept) and the variance in changes between individuals over time (time slope). Simulations showed that this model is effective in dealing with changes in sample size, with best performance at a ratio of the number of environments to the size of the environment of 60/30. This model produced unbiased and minimum variance parameter estimates, especially for fixed parameters, although random parameters show different sensitivities to changes in sample size, so further analysis was needed.

The application of MLGM to the 2015–2019 school national exam data confirmed that this model is good at estimating parameters. Based on the simulation results and data applications, it was important to consider the sample size ratio ( $m/n$ ) and contextual factors, such as districts, in applying the nSEM model to ensure that it is appropriate, accurate, relevant, and can be implemented effectively. As in the general SEM framework, index modifications are needed to achieve an appropriate model. The development of the *CT-MLGM* model integrated CT-SEM with nSEM to handle longitudinal data with irregular measurement times, using stochastic differential equations to connect discrete-time models with continuous-time models.

This development begins by applying drift parameters to the linear time coefficients of the LGM, which function as multipliers on the regression coefficients at each observation time point. Simulation results show that *CT-MLGM* is consistent with the findings in MLGM, with best performance at a sample size ratio of 60/30. *CT-MLGM* tends to be superior at large sample sizes, producing unbiased and accurate fixed parameter estimates, although the intercept coefficient and time slope show large estimator variances. The superiority of *CT-MLGM* over MLGM is seen in estimating the random environmental intercept variance at Level 2, although it still shows quite a large bias and variance. The application of the model to UN data in West Java shows that the model can handle complex data with irregular time measurements. MLGM tends to provide higher fixed parameter estimate values with narrower confidence intervals than *CT-MLGM*. Although some differences exist, both models show similar estimate values for several parameters. MLGM showed a slightly lower model fit than *CT-MLGM* based on deviance, AIC, and BIC. However, they were identical.

Each study in this research provided an important contribution to understanding and addressing challenges in complex data analysis. By considering random factors and temporal measurements, these models were able to offer more accurate and stable parameter estimations, particularly for fixed effect estimates. The integration between nSEM and CT-SEM created new opportunities in statistical methodology, allowing for more precise and informative analysis of data with hierarchical structures and complex temporal dimensions, thus providing deeper insights for researchers. The overall conclusion of this research was that the nSEM approach was a powerful and flexible tool for complex data analysis across various research contexts, especially *CT-MLGM* for cases of irregular repeated observations. However, further in-depth studies on individual random parameters are still required.

**Keywords:** Complex data, CT-SEM, irregular time measurement, nSEM.



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 2024<sup>1</sup>  
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.*





*@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.

# **PENGEMBANGAN N-LEVEL STRUCTURAL EQUATION MODEL (NSEM) MENGGUNAKAN PARAMETER *DRIFT* UNTUK DATA KOMPLEKS DENGAN WAKTU PENGUKURAN TIDAK TERATUR**

**VIARTI EMINITA**

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

**PROGRAM STUDI STATISTIKA DAN SAINS DATA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2024**

@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.

@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.

**Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:**

- 1 Dr. Ir. I Made Sumertajaya, M.Si. 
- 2 Dr. Ir. Budi Susetyo, MS 

**Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:**

- 1 Prof. Dr. Iswan, M.Si. 
- 2 Dr. Ir. I Made Sumertajaya, M.Si. 



@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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Judul Tesis : Pengembangan *n-Level Structural Equation Model (nSEM)*  
Menggunakan Parameter *Drift* untuk Data Kompleks dengan  
Waktu Pengukuran Tidak Teratur

Nama : Viarti Eminita  
NIM : G161180011

Disetujui oleh

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



Pembimbing 2:  
Dr. Kusman Sadik, S.Si., M.Si.



Pembimbing 3:  
Dr. Utami Dyah Syafitri, S.Si., M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:  
Dr. Kusman Sadik, S.Si., M.Si.  
NIP. 196909121997021000



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan  
Alam :  
Dr. Berry Juliandi, S.Si., M.Si.  
NIP. 197807232007011001



Tanggal Ujian: 15 Agustus 2024

Tanggal Lulus:



## PRAKATA

*Alhamdulillah Robbil 'Aalamiin.* Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Karya ilmiah ini berjudul “Pengembangan *n-Level Structural Equation Model (nSEM)* Menggunakan Parameter *Drift* untuk Data Kompleks dengan Waktu Pengukuran Tidak Teratur”. Karya ilmiah ini penulis susun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Doktor Statistika pada Departemen Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Penulisan disertasi ini dapat diselesaikan oleh penulis tidak lepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penyelesaian disertasi ini, antara lain:

1. Komisi pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan dan dorongan semangat kepada penulis dengan penuh kesabaran: Bapak Prof. Dr. Ir. Asep Saefuddin, M.Sc., Bapak Dr. Kusman Sadik, S.Si, M.Si., Ibu Dr. Utami Dyah Syafitri, S.Si., M.Si.
2. Penguji luar komisi ujian tertutup yaitu Bapak Dr. Ir. I Made Sumertajaya, M.Si. dan Bapak Dr. Ir. Budi Susetyo, M.S yang telah memberikan komentar, saran dan perbaikan.
3. Jajaran pimpinan Universitas Muhammadiyah Jakarta, yang telah memberikan kesempatan dan membiayai penulis untuk melanjutkan pendidikan S3 di Institut Pertanian Bogor (IPB).
4. Sekolah Pascasarjana IPB beserta jajarannya yang telah membantu memfasilitasi studi penulis.
5. Ketua Program Studi serta Bapak/Ibu Dosen Departemen Statistika yang telah banyak memberikan ilmu, pencerahan, dan arahan selama masa perkuliahan.
6. Sekretariat Program Studi Statistika dan Sains Data IPB yang dengan sabar selalu yang membantu segala proses administrasi.
7. Keluarga penulis yang senantiasa memotivasi, mendukung dan mendo'akan kelancaran studi penulis.
8. Teman-teman S3 Statistika IPB Angkatan 2018 dan teman-teman S3 lainnya yang selalu memberikan semangat kepada penulis.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan mohon maaf atas segala kekurangan dan kesalahan yang terdapat dalam disertasi ini.

Bogor, September 2024

*Viarti Eminita*

## DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
<b>I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Kerangka Kerja Penelitian	4
1.6 Kebaruan	5
<b>II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>7</b>
2.1 <i>Structural Equation Model (SEM)</i>	7
2.1.1 <i>Confirmatory Factor Analysis (CFA)</i>	7
2.1.2 Pendugaan Kemungkinan Maksimum <i>CFA</i>	8
2.1.3 Pendekatan <i>SEM</i>	11
2.2 <i>Higher-Order CFA (Analisis Faktor Confirmatory Tingkat Tinggi)</i>	12
2.3 <i>Latent Growth Model (LGM)</i>	13
2.4 Model Multilevel	14
2.4.1 Model intersep acak 2 level	15
2.4.2 Model koefisien acak 2 level	15
2.4.3 Model Umum Multilevel	16
2.4.4 Model dengan Pengaruh Acak Nonhierarki	16
2.5 Multilevel SEM	17
2.6 CT-SEM	19
2.7 <i>N-Level SEM (nSEM)</i>	21
2.8 Indeks Kesesuaian Model	22
<b>III N-LEVEL SEM UNTUK DATA KOMPLEKS YANG MENCAKUP FAKTOR ACAK</b>	<b>23</b>
3.1 Model Intersep Acak Laten (LatentIA)	24
3.2 Kajian Simulasi Model <i>nSEM</i> : LatenIA	27
3.2.1 Data Simulasi	27
3.2.2 Desain Simulasi	29
3.2.3 Hasil Simulasi	29
3.3 Aplikasi Model LatenIA untuk Data Motivasi Belajar	32
3.3.1 Pendahuluan	32
3.3.2 Metodologi	33
3.3.3 Hasil dan Pembahasan	37
3.4 Aplikasi Model <i>nSEM</i> untuk Data UN 2019	43
3.4.1 Pendahuluan	43
3.4.2 Metodologi	44



3.4.3	Hasil dan Pembahasan	46
3.5	Pembahasan	49
3.6	Kesimpulan	51
<b>IV</b>	<b><i>nSEM</i> UNTUK DATA KOMPLEKS DENGAN PENGUKURAN BERULANG TERATUR</b>	<b>52</b>
4.1	<i>nSEM: Multilevel Latent Growth Model (MLGM)</i>	52
4.2	Kajian Simulasi Model <i>MLGM</i>	58
4.2.1	Desain Data Simulasi	58
4.2.2	Desain Simulasi	61
4.2.3	Hasil Simulasi dan Pembahasan	61
4.3	Aplikasi <i>nSEM</i> pada Data UN	64
4.4	Pembahasan	68
4.5	Kesimpulan	69
	<b><i>CT-MLGM</i> UNTUK DATA KOMPLEKS DENGAN PENGUKURAN BERULANG TIDAK TERATUR</b>	<b>71</b>
5.1	<i>Continuous Time-MLGM (CT-MLGM)</i>	71
5.1.1	Pendekatan <i>MLGM</i>	72
5.1.2	Parameter <i>drift</i> dari pendekatan <i>CT-SEM</i>	72
5.1.3	Penggunaan parameter <i>drift</i> pada <i>MLGM</i>	73
5.2	Kajian Simulasi Model	74
5.2.1	Skenario simulasi	74
5.2.2	Hasil Simulasi	75
5.3	Aplikasi <i>CT-MLGM</i> pada Data UN 2015-2019	77
5.4	Pembahasan	80
5.5	Simpulan	81
<b>VI</b>	<b>PEMBAHASAN UMUM</b>	<b>83</b>
<b>VII</b>	<b>SIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>88</b>
7.1	Simpulan	88
7.2	Saran	89
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>90</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	<b>101</b>
	<b>RIWAYAT HIDUP</b>	<b>147</b>

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Nilai <i>deviance</i> model <i>nSEM</i> ditinjau dari variasi ukuran contoh	30
Tabel 3.2 Bias dan <i>RMSE</i> bagi penduga parameter model LatenIA	30
Tabel 3.3 Bias dan <i>RMSE</i> bagi penduga parameter acak model LatenIA	31
Tabel 3.4 Statistik deskriptif responden guru	34
Tabel 3.5 Penduga parameter tetap model LatentIA	39
Tabel 3.6 Penduga parameter pengaruh acak model LatenIA	39
Tabel 3.7 Kesesuaian model LatenIA	40
Tabel 3.8 Peubah yang diamati dalam penelitian	44
Tabel 3.9 Statistik deskriptif rata-rata nilai UN tiap mata pelajaran	47
Tabel 3.10. Penduga parameter tetap model LatentIA	48
Tabel 3.11. Penduga parameter acak model LatenIA	48
Tabel 4.1 Skenario data simulasi	61
Tabel 4.2 Bias dan <i>RMSE</i> bagi penduga parameter tetap <i>MLGM</i>	62
Tabel 4.3 Bias dan <i>RMSE</i> bagi penduga parameter galat pengukuran	63
Tabel 4.4 Bias dan <i>RMSE</i> bagi penduga parameter acak Level-1 dan Level-2	63
Tabel 4.5 Deskripsi Peubah teramati yang diamati 5 kali	65
Tabel 4.6 Korelasi antar peubah teramati	65
Tabel 4.7 Analisis <i>nSEM</i> pada data UN Sekolah Tahun 2015-2019	66
Tabel 4.8 Hasil pendugaan parameter acak <i>MLGM</i>	67
Tabel 5.1 Skenario data simulasi	75
Tabel 5.2 Bias dan <i>RMSE</i> bagi parameter tetap <i>CT-MLGM</i>	76
Tabel 5.3 Bias dan <i>RMSE</i> bagi parameter galat pengukuran <i>CT-MLGM</i>	76
Tabel 5.4 Bias dan <i>RMSE</i> bagi penduga galat struktural	77
Tabel 5.5 Hasil pendugaan parameter pada data UN 2015-2019	78
Tabel 5.6 Hasil dugaan parameter acak galat pengukuran <i>MLGM</i> dan <i>CT-MLGM</i>	78
Tabel 5.7. Hasil pendugaan parameter acak galat struktural bagi <i>CT-MLGM</i>	79
Tabel 5.8. Ukuran kebaikan model <i>MLGM</i> dan <i>CT-MLGM</i>	79

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ruang lingkup penelitian	5
Gambar 1.2 Kebaruan Penelitian	6
Gambar 2.1 Model <i>CFA</i> untuk pengukuran reflektif	7
Gambar 2.2 Diagram jalur model pengukuran reflektif untuk Motivasi belajar siswa	8
Gambar 2.3 Digram jalur analisis SEM	11
Gambar 2.4 Diagram jalur motivasi belajar siswa	13
Gambar 2.5 Diagram jalur LGM dengan empat titik pengamatan	13
Gambar 2.6 Diagram klasifikasi untuk struktur hierarki (kiri) dan klasifikasi silang (kanan)	17
Gambar 2.7 (a) model faktor dua level dan (b) model faktor komponen ragam	18

Gambar 3.1 Diagram jalur model LatenIA (Mehta 2013a)	25
Gambar 3.2 Diagram Jalur model LatenIA (model 1)	36
Gambar 3.3 Diagram jalur model 2	37
Gambar 3.4 Diagram korelasi antar indikator untuk faktor laten motivasi belajar siswa	38
Gambar 3.5 Diagram jalur model LatentIA dengan peubah penjelas kompetensi guru	41
Gambar 3.6 Diagram pencar nilai UN sekolah antar mata pelajaran	47
Gambar 3.7 Diagram jalur model LatentIA	48
Gambar 4.1 <i>nSEM</i> dengan peubah laten tunggal pada level-2 (lingkungan)	55
Gambar 4.2 Diagram jalur MLGM	58
Gambar 4.3 Diagram Jalur hasil analisis MLGM untuk data UN 2015-2019	68
Gambar 5.1 Perubahan diagram jalur <i>CT-MLGM</i> dari <i>MLGM</i>	73
Gambar 5.2 Analisis data simulasi MLGM dengan menggunakan parameter <i>drift</i> .	74
Gambar 5.3 Boxplot parameter drift dari CT-SEM	75
Gambar 5.4 Diagram jalur pendugaan parameter untuk <i>CT-MLGM</i> pada data UN Tahun 2015-2019	80

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pendugaan parameter SEM	102
Lampiran 2. Pendugaan parameter pada model LatenIA	104
Lampiran 3. Ukuran contoh data motivasi belajar matematika siswa	107
Lampiran 4. Analitik pendugaan parameter Multilevel Latent Growth Model (MLGM)	108
Lampiran 5. Hasil output analisis model 1: LatenIA untuk motivasi belajar	115
Lampiran 6 Hasil output analisis model 2 (LatenIA dengan koefisien acak) untuk motivasi belajar	116
Lampiran 7 Hasil output analisis LatenIA pada capaian UN sekolah Tahun 2019	117
Lampiran 8 Hasil output analisis CFA 2 Level pada capaian UN sekolah Tahun 2019	118
Lampiran 9. Output MLGM dengan waktu lengkap	119
Lampiran 10. Output MLGM untuk data UN dengan waktu tidak lengkap	120
Lampiran 11. Output CT-SEM untuk data UN dengan waktu tidak lengkap	121
Lampiran 12. Output <i>CT-MLGM</i>	123
Lampiran 13. Syntax program bangkitan data (Kajian 1: LatenIA (300))	124
Lampiran 14. Syntax program pendekatan MLGM	130
Lampiran 15. Syntax program model <i>CT-MLGM</i> (1000)	138