

ANALISIS RISIKO USAHATANI BAWANG MERAH MENGUNAKAN SIMULASI MONTE CARLO BERBASIS *D-VINE COPULA*

FATIMAH FUZZAROH



PROGRAM STUDI MATEMATIKA TERAPAN
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 TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis berjudul “Analisis Risiko Usahatani Bawang Merah Menggunakan Simulasi Monte Carlo Berbasis *D-vine Copula*” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi 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 tesis ini.

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

Bogor, Juli 2026

Fatimah Fuzzaroh
G5501222006



RINGKASAN

FATIMAH FUZZAROH. Analisis Risiko Usahatani Bawang Merah Menggunakan Simulasi Monte Carlo Berbasis *D-vine Copula*. Dibimbing oleh BERLIAN SETIAWATY dan I GUSTI PUTU PURNABA.

Bawang merah merupakan salah satu komoditas hortikultura yang banyak dibutuhkan untuk konsumsi rumah tangga maupun industri makanan, sehingga menjadikannya sebagai komoditas strategis dalam kegiatan usahatani. Meskipun demikian, usahatani bawang merah tidak terlepas dari berbagai risiko pertanian, Risiko tersebut dapat berasal dari berbagai aspek, fluktuasi harga, pergeseran musim tanam yang berhubungan dengan ketersediaan produksi, kenaikan biaya produksi, dan serangan hama. Kombinasi ketidakpastian tersebut menyebabkan keuntungan petani bawang merah menjadi cukup berisiko. Dalam praktiknya, keuntungan petani dihitung sebagai $Y = (\text{hasil panen} \times \text{harga jual}) - (\text{biaya produksi})$. Karena keuntungan tersusun dari berbagai komponen variabel acak yang berfluktuasi, maka analisis risiko penting dilakukan untuk memahami besarnya potensi kerugian yang mungkin dialami oleh petani.

Setiap komponen dari variabel acak memiliki karakteristik statistik dan distribusi peluang yang berbeda serta saling bergantung atau tidak bersifat bebas. Ketergantungan ini sering diabaikan dan berpotensi menyebabkan estimasi risiko menjadi tidak akurat dari kondisi sebenarnya. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis yang mampu mempertahankan struktur ketergantungan antarvariabel acak dalam perhitungan risiko. Dalam penelitian ini, estimasi risiko dilakukan melalui simulasi Monte Carlo dengan pendekatan *D-vine copula* untuk merepresentasikan ketergantungan antarvariabel acak secara lebih akurat.

Penelitian ini menggunakan data keuntungan usahatani bawang merah yang tersusun atas beberapa komponen variabel acak, yaitu hasil panen, harga jual, biaya produksi yang terdiri dari biaya bibit, biaya tenaga kerja, dan biaya lainnya. Setiap variabel acak dimodelkan berdasarkan distribusi peluang yang sesuai dengan karakteristik datanya, kemudian struktur ketergantungan antarvariabel dibentuk menggunakan pendekatan *D-vine copula*. Selanjutnya, simulasi Monte Carlo dilakukan untuk menghasilkan distribusi keuntungan.

Estimasi risiko diukur menggunakan *Value at Risk* (VaR) dan *Expected Shortfall* (ES) pada tingkat kepercayaan 90%, 95%, dan 99% dengan beberapa pendekatan yaitu, pendekatan univariat di mana keuntungan ditetapkan sebagai variabel tunggal dengan distribusi normal tanpa melihat komponen penyusunnya, pendekatan multivariat menggunakan *D-vine copula* untuk mempertahankan ketergantungan antarkomponen, dan pendekatan empiris dari data historis.

Hasil penelitian menunjukkan keuntungan usahatani bawang merah di Desa Babakan dan Pabedilan, Kabupaten Cirebon, menunjukkan keragaman selama periode pengamatan 2014-2024, dengan rata-rata sebesar Rp4.237.254/ha. Sebanyak 59,375% data menunjukkan keuntungan, sedangkan 40,625% menunjukkan kerugian, yang mengindikasikan bahwa risiko usahatani bawang merah relatif tinggi.

Ketergantungan antarvariabel pembentuk keuntungan dimodelkan menggunakan *D-vine copula*, dengan susunan *Clayton copula* pada pasangan hasil



panen dan biaya tenaga kerja, *Student-t* pada biaya tenaga kerja dan bibit, dan *Joe* pada biaya bibit dan harga jual. Simulasi Monte Carlo menggunakan *D-vine copula* menghasilkan rata-rata dan simpangan baku yang sebanding dengan data empiris dan menghasilkan data yang stabil.

Pengukuran estimasi risiko menggunakan VaR dan ES. Pendekatan empiris menghasilkan nilai risiko relatif kasar yang menunjukkan sensitivitas terbatas dalam kejadian ekstrem dan ketidakmampuan dalam menangkap perilaku ekor akibat keterbatasan data. Pendekatan empiris sesuai untuk analisis awal atau pengambil keputusan dengan kecenderungan menghindari risiko (*risk-averse*).

Pendekatan univariat dengan distribusi normal menghasilkan estimasi risiko tertinggi dari ketiga pendekatan pada seluruh tingkat kepercayaan. Hal ini mencerminkan hasil risiko ekstrem yang lebih konservatif dan ekor distribusi yang lebih halus, sehingga memberikan estimasi risiko yang lebih stabil. Namun, pendekatan univariat didorong dari asumsi distribusi, bukan dari struktur data karena model tidak mempertimbangkan ketergantungan antarkomponen penyusun keuntungan. Akibatnya, estimasi risiko ekor berpotensi berlebihan dan tidak sepenuhnya mencerminkan perilaku gabungan variabel secara aktual. Oleh karena itu, pendekatan ini cocok digunakan untuk tolok ukur konservatif atau kecenderungan risiko tinggi (*risk-seeking*).

Pendekatan multivariat dengan simulasi Monte Carlo dan *D-vine copula* memberikan estimasi nilai risiko yang berada di antara pendekatan empiris dan univariat. Pendekatan ini mampu menangkap dinamika bersama dan ketergantungan pada ekor melalui simulasi, sehingga menghasilkan representasi perilaku ekor yang lebih halus dan relevan bagi komponen penyusun keuntungan yang saling berhubungan. Hal ini penting dalam konteks komponen keuntungan, di mana biaya produksi yang tinggi dapat terjadi secara bersamaan sehingga meningkatkan total biaya produksi jika dikombinasikan dengan hasil panen atau harga jual yang rendah. Interaksi ini dapat menghasilkan skenario kerugian yang ekstrem. Meskipun demikian, estimasi risiko yang dihasilkan tetap bergantung pada struktur *copula* dan desain simulasi yang digunakan. Dengan demikian, pendekatan ini memberikan representasi risiko yang lebih seimbang dan sesuai bagi pengambil keputusan dengan kecenderungan netral terhadap risiko (*risk-neutral*).

Kata kunci: Analisis risiko, *D-vine copula*, *Expected shortfall*, Simulasi Monte Carlo, *Value at Risk*.



SUMMARY

FATIMAH FUZZAROH. Risk Analysis of Shallot Farm Using D-vine Copula-Based Monte Carlo Simulation. Supervised by BERLIAN SETIAWATY and I GUSTI PUTU PURNABA.

Shallots are a horticultural commodity in high demand for both household consumption and the food industry, making them a strategic commodity in agricultural production. However, shallot farming is not immune to various agricultural risks. These risks can stem from various factors, including price fluctuations, shifts in planting seasons that affect production availability, rising production costs, and pest infestations. The combination of these uncertainties makes red onion farmers' profit quite risky. In practice, farmers' profit is calculated as $Y = (\text{harvest yield} \times \text{selling price}) - (\text{production costs})$. Since profit consists of various components of random variables that fluctuate, risk analysis is essential to understand the magnitude of potential losses that farmers may incur.

Each component of a random variable has different statistical characteristics and probability distributions and may be interdependent or independent. This interdependence is often overlooked and can potentially lead to risk estimates that are lower than the actual conditions. Therefore, an analytical approach is needed that can preserve the interdependence structure among random variables in risk calculations. In this study, risk estimation was performed using Monte Carlo simulation with the D-vine copula approach to represent the interdependence among random variables more accurately.

This study uses data on shallot farm profit, which consists of several random variables: crop yield, selling price, and production costs, which include seed costs, labor costs, and other costs. Each random variable is modeled based on a probability distribution that matches the characteristics of the data, and the interdependence structure among variables is established using the D-vine copula approach. Subsequently, a Monte Carlo simulation is conducted to generate the profit distribution.

Risk estimates are measured using Value at Risk (VaR) and Expected Shortfall (ES) at confidence levels of 90%, 95%, and 99% using several approaches: a univariate approach in which profit is treated as a single variable with a normal distribution; a multivariate approach using the D-vine copula to account for interdependencies among components; and an empirical approach based on historical data.

The result indicates that shallot farming profits in Babakan and Pabedilan Villages, Cirebon Regency, varied throughout the 2014-2024 observation period, with an average profit of Rp4.237.254/ha. Of the observations, 59,375% indicated profits, while 40,625% indicate that farmers incurred losses, suggesting a relatively high level of risk in shallot farming.

The dependencies among the variables that determine profit were modeled using the D-vine copula, with a Clayton copula applied to the pair of crop yield and labor costs, a Student-t copula to labor costs and seed costs, and a Joe copula to seed costs and selling price. Monte Carlo simulations using the D-vine copula produced means and standard deviations comparable to the empirical data and yielded stable results.



Risk estimation using VaR and ES. The empirical approach yields relatively crude risk measures that exhibit limited sensitivity to extreme events and an inability to capture tail behavior due to data limitations. Therefore, the empirical approach is suitable for preliminary analysis or for risk-averse decision-makers.

The univariate approach with a normal distribution yields the highest risk estimates of the three approaches at all confidence levels. This reflects more conservative estimates of extreme risks and a smoother distribution tail, thereby providing more stable risk estimates. However, the univariate approach is driven by distribution assumptions rather than by the data structure, as the model does not account for dependencies among the components of profit. As a result, tail risk estimates may be overstated and do not fully reflect the actual combined behavior of the variables. Therefore, this approach is suitable for conservative benchmarks or high-risk (risk-seeking) preferences.

The multivariate approach using Monte Carlo simulation and D-vine copulas provides risk value estimates that fall between those of empirical and univariate approaches. This approach is capable of capturing co-dynamics and dependencies in the tails through simulation, thereby producing a smoother and more relevant representation of tail behavior for interrelated profit components. This is important in the context of profit components, where high input costs can occur simultaneously, thereby increasing total production costs when combined with low production output or selling prices. These interactions can lead to extreme loss scenarios. Nevertheless, the resulting risk estimates remain dependent on the copula structure and simulation design used. Thus, this approach provides a more balanced and appropriate representation of risk for decision-makers with risk-neutral preferences.

Keywords: *D-vine copula, Expected shortfall, Monte Carlo simulation, Risk-analysis, Value at Risk.*



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

ANALISIS RISIKO USAHATANI BAWANG MERAH MENGUNAKAN SIMULASI MONTE CARLO BERBASIS *D-VINE COPULA*

FATIMAH FUZZAROH

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Matematika pada
Program Studi Matematika Terapan

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA TERAPAN
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.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

Dr. Ir. Retno Budiarti, M.S.



Judul Tesis : Analisis Risiko Usahatani Bawang Merah Menggunakan Simulasi Monte Carlo Berbasis *D-vine Copula*
Nama : Fatimah Fuzzaroh
NIM : G5501222006

Disetujui oleh

Pembimbing I:
Dr. Berlian Setiawaty, M.S.

Pembimbing II:
Dr. Ir. I Gusti Putu Purnaba, DEA.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Drs. Jaharuddin, M.S.
NIP 19651102 199302 1 001

Dekan Sekolah Sains Data, Matematika, dan Informatika:
Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom.
NIP 19660702 199302 1 001

Tanggal Ujian : 1 Juli 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah dengan judul “Analisis Risiko Usahatani Bawang Merah Menggunakan Simulasi Monte Carlo Berbasis *D-vine Copula*” berhasil diselesaikan.

Terima kasih penulis ucapkan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan karya ilmiah ini khususnya:

1. Ibu, Bapak, Kakak, Adik, Teman-teman penulis yang telah memberikan dukungan dan do'a tiada henti dalam menyelesaikan proses kuliah di IPB University.
2. Ibu Dr. Berlian Setiawaty, M.S. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. I Gusti Putu Purnaba, DEA. selaku dosen pembimbing II atas segala kesabaran dalam membimbing ilmu, arahan, waktu, dan perannya sebagai pembimbing untuk menyelesaikan studi di Matematika Terapan IPB University.
3. Seluruh dosen Matematika Terapan IPB University atas ilmu yang telah diberikan.
4. Seluruh staff Matematika Terapan IPB University atas segala bantuan selama perkuliahan dan proses penyelesaian karya ilmiah ini.
5. Petani bawang merah Desa Babakan dan Pabedilan, Kabupaten Cirebon atas ketersediaan memberikan data untuk penelitian ini.
6. Teman-teman mahasiswa Matematika Terapan IPB University.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian karya ilmiah yang tidak dapat ditulis satu persatu.

Penulis menyadari tulisan ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, dibutuhkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Fatimah Fuzzaroh



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Teori Variabel Acak	4
2.2 Karakteristik Variabel Acak	5
2.3 Distribusi Peluang Kontinu	6
2.4 Teori <i>Copula</i> dan Ketergantungan	9
2.5 <i>Vine Copula</i> dan Struktur Graf	13
2.6 Metode Estimasi dan Uji Kesesuaian	15
2.7 Analisis Risiko	17
2.8 Simulasi Monte Carlo	18
III METODE	19
3.1 Metode Penelitian	19
3.2 Jenis dan Sumber Data	19
3.3 Prosedur Analisis Data	20
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Analisis Deskriptif	23
4.2 Analisis Risiko Keuntungan dengan Pendekatan Empiris	26
4.3 Analisis Risiko Keuntungan dengan Pendekatan Univariat	27
4.4 Analisis Risiko Keuntungan dengan Pendekatan Multivariat	28
4.5 Perbandingan Hasil Risiko Setiap Pendekatan	39
V SIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Simpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	46
RIWAYAT HIDUP	65



DAFTAR TABEL

1	Statistik deskriptif variabel pembentuk keuntungan	23
2	Statistik deskriptif variabel keuntungan (Y)	25
3	Hasil VaR dan ES untuk pendekatan empiris (L)	26
4	Hasil estimasi parameter dan uji kesesuaian distribusi (L)	28
5	Hasil VaR dan ES untuk pendekatan univariat (L)	28
6	Hasil estimasi parameter dan uji kesesuaian distribusi (X_1)	29
7	Hasil estimasi parameter dan uji kesesuaian distribusi (X_2)	30
8	Hasil estimasi parameter dan uji kesesuaian distribusi (X_3)	31
9	Hasil estimasi parameter dan uji kesesuaian distribusi (X_4)	31
10	Nilai korelasi Kendall's tau antarvariabel	32
11	Hasil pendugaan <i>copula</i> multivariat dan <i>D-vine copula</i>	32
12	Pasangan dan nilai dugaan parameter untuk setiap fungsi <i>copula</i>	35
13	Hasil perbandingan simulasi dengan data empiris	37
14	Hasil VaR dan ES untuk pendekatan multivariat	39
15	Hasil VaR dan ES untuk setiap pendekatan	39

DAFTAR GAMBAR

1	Ilustrasi grafik <i>D-vine copula</i>	15
2	<i>Scatter plot</i> hasil panen	23
3	<i>Scatter plot</i> harga jual	24
4	<i>Scatter plot</i> biaya tenaga kerja	24
5	<i>Scatter plot</i> biaya bibit	25
6	<i>Scatter plot</i> keuntungan usahatani bawang merah	26
7	Histogram kerugian dengan kurva kandidat distribusi	27
8	Histogram hasil panen dan kandidat distribusi	29
9	Histogram harga jual dan kandidat distribusi	30
10	Histogram biaya tenaga kerja dan kandidat distribusi	30
11	Histogram biaya bibit dan kandidat distribusi	31
12	Ilustrasi struktur <i>D-vine copula</i> terpilih	34
13	Perbandingan keuntungan empiris dan simulasi <i>D-vine copula</i>	37
14	Kekonvergenan estimasi VaR pada setiap tingkat kepercayaan	38
15	Kekonvergenan estimasi ES pada setiap tingkat kepercayaan	38



DAFTAR LAMPIRAN

1 Kode <i>fitting</i> distribusi harga jual	46
2 Kode <i>fitting</i> distribusi L dan estimasi VaR & ES pendekatan univariat	52
3 Kode simulasi Monte Carlo D -vine copula dan risiko multivariat	56
4 Penentuan h -function dan h^{-1} Clayton copula	59
5 Penentuan h -function dan h^{-1} Student- t copula	60
6 Penentuan h -function dan h^{-1} Joe copula	62



@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