

**PEMODELAN DIFUSI TEKNOLOGI IRIGASI TETES PADA
PETANI CABAI DI KABUPATEN BANYUWANGI
MENGUNAKAN *AGENT-BASED MODELLING* DAN
*BAYESIAN NETWORK***

**SIDIK PERMANA ALI MUHTAJ
P0502211026**



**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa usulan tesis berjudul “Pemodelan Difusi Teknologi Irigasi Tetes pada Petani Cabai di Kabupaten Banyuwangi Menggunakan Agent-Based Modelling dan Bayesian Network” adalah benar karya saya dengan arahan dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun 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, Agustus 2025

Sidik Permana Ali Muhtaj
P0502211026



RINGKASAN

SIDIK PERMANA ALI MUHTAJ. Pemodelan Difusi Teknologi Irigasi Tetes pada Petani Cabai di Kabupaten Banyuwangi Menggunakan *Agent-Based Modelling* dan *Bayesian Network*. Dibimbing oleh KUDANG BORO SEMINAR dan ELISA ANGGRAENI.

Kebutuhan pangan terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi. Peningkatan kebutuhan pangan Indonesia rata-rata per tahun antara tahun 1990 hingga 2016 diperkirakan sebesar 4,03%, jauh di atas pertumbuhan penduduk pada periode yang sama yakni rata-rata 1,43% (Arifin *et al.* 2018). Salah satu tantangan dalam meningkatkan produksi pangan di Indonesia adalah terbatasnya sumberdaya, terutama lahan dan air. Selain itu, fenomena bencana alam, perubahan iklim, dan cuaca ekstrem penting untuk diperhatikan (FAO 2018).

Untuk menghadapi permasalahan dan tantangan tersebut, diperlukan inovasi-inovasi yang dapat meningkatkan produktivitas pertanian, lebih efisien dalam penggunaan lahan dan air, serta lebih tangguh terhadap kondisi cuaca dan perubahan iklim. Salah satu bentuk teknologi tersebut adalah irigasi tetes, yakni metode irigasi yang mengirimkan air dalam bentuk tetesan kecil langsung ke zona akar tanaman, sehingga mengurangi penguapan dan limpasan air. Irigasi tetes juga dapat meningkatkan produktivitas tanaman (Chai *et al.* 2016).

Meskipun irigasi tetes memiliki banyak keunggulan dan sudah banyak digunakan secara luas di negara lain, tingkat adopsinya di Indonesia masih rendah. Hasil pemodelan menggunakan *bayesian network* menghasilkan probabilitas petani untuk mengadopsi irigasi tetes di lokasi penelitian hanya 13,79%. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan terdapat beberapa faktor yang sangat sensitif dalam mempengaruhi keputusan petani untuk mengadopsi irigasi tetes, yakni kemampuan finansial, keyakinan bahwa teknologi ini dapat meningkatkan pendapatan serta aktivitas vendor.

Dengan probabilitas adopsi yang rendah, maka tingkat difusi teknologi irigasi tetes di tiga kecamatan lokasi penelitian juga rendah dan berjalan lambat. Hasil simulasi dengan menggunakan *agent-based modelling* menunjukkan, pada tahap awal, difusi berjalan lambat sesuai dengan karakteristik petani yang cenderung hati-hati dalam mengadopsi inovasi baru. Kemudian terjadi percepatan pada *time-step* 2 hingga 8, terjadi stagnasi hingga *time-step* 12. Pada tahap ini, terjadi adopsi pada kelompok pengadopsi awal dan mayoritas awal. Setelah *time-step* 15, laju difusi meningkat secara bertahap mencerminkan pengaruh sosial yang semakin besar. Laju difusi kemudian mengalami saturasi yang dicerminkan grafik yang relatif datar dimulai pada *time-step* 40. Hingga setelah *time-step* 45, jumlah pengadopsi hanya mencapai 300 atau 85,71% dari populasi. Kondisi ini sesuai dengan kondisi empiris yang menunjukkan tingkat adopsi irigasi tetes tidak pernah mencapai keseluruhan populasi. Secara umum, pola difusi dari hasil simulasi ini mencerminkan karakteristik unik adopsi teknologi pertanian. Hasil simulasi tersebut menunjukkan terdapat kelompok dalam populasi yang tidak tercapai, yakni kelompok tertinggal (*laggards*). Kondisi ini disebabkan oleh: (i) luas lahan yang diusahakan petani sempit, dimana 68,5% petani responden mengusahakan lahan < 5.000 m². Sehingga banyak petani berpikir bahwa penggunaan teknologi irigasi



tetes tidak ekonomis karena investasi awal dan biaya operasional tidak sebanding dengan potensi peningkatan produksi dari lahan kecil; (ii) biaya investasi awal yang tinggi. Hal ini sejalan dengan pendapat Postel *et al.* menyatakan bahwa biaya awal sistem irigasi tetes adalah kendala utama adopsi, terutama di negara-negara berkembang (Sandra Postel Paul Polak dan Keller 2001); (iii) tidak tersedianya fasilitas kredit atau skema pembiayaan. Petani kecil seringkali tidak memiliki agunan, riwayat kredit atau akses ke lembaga keuangan formal (*non-bankable*), sehingga mereka tidak memiliki kemampuan investasi serta enggan untuk menanggung risiko kegagalan adopsi teknologi (Meijer *et al.* 2015).

Berdasarkan hasil pemodelan dan simulasi yang dilakukan, telah disusun beberapa strategi untuk memperluas dan atau mempercepat adopsi irigasi tetes untuk petani kecil. Strategi tersebut adalah: (i) skema pembiayaan dan atau subsidi investasi irigasi tetes; (ii) peningkatan kepercayaan petani terhadap irigasi tetes; (iii) peningkatan akses teknologi; (iv) penguatan kapasitas kelembagaan petani; dan (v) promosi adopsi kolektif dan skala komunal. Dengan dasar pemikiran bahwa adopsi teknologi ini sangat penting dalam mendukung ketahanan pangan yang merupakan salah satu isu strategis nasional, peran pemerintah dalam pelaksanaan strategi tersebut menjadi keniscayaan.

Kata Kunci: Adopsi, *Agent-Based Modelling*, *Bayesian Network*, Difusi, Irigasi Tetes

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.



SUMMARY

SIDIK PERMANA ALI MUHTAJ. Modeling the Diffusion of Drip Irrigation Technology for Chili Farmers in Banyuwangi Regency Using Agent-Based Modeling and Bayesian Networks. Supervised by KUDANG BORO SEMINAR and ELISA ANGGRAENI.

Food demand continues to increase in line with population growth and economic growth. The average annual increase in Indonesia's food demand between 1990 and 2016 was estimated at 4.03%, far exceeding the average population growth rate of 1.43% during the same period (Arifin et al. 2018). One of the challenges to increasing food production in Indonesia is limited resources, particularly land and water. Furthermore, natural disasters, climate change, and extreme weather events are important to consider (FAO 2018).

To address these issues and challenges, innovations are needed that can increase agricultural productivity, make land and water use more efficient, and be more resilient to weather conditions and climate change. One such technology is drip irrigation, an irrigation method that delivers water in the form of small droplets directly to the root zone of plants, thereby reducing evaporation and runoff. Drip irrigation can also increase crop productivity (Chai et al. 2016).

Although drip irrigation has many advantages and is already widely used in other countries, its adoption rate in Indonesia remains low. The Bayesian network modeling results yielded a probability of farmers adopting drip irrigation at the research site of only 13.79%. Sensitivity analysis results indicated several highly sensitive factors influencing farmers' decisions to adopt drip irrigation, namely financial capacity, belief that the technology could increase income, and vendor activity.

With a low probability of adoption, the diffusion rate of drip irrigation technology in the three research sub-districts was also low and slow. Simulation results using agent-based modeling showed that, in the initial stage, diffusion was slow, consistent with the characteristics of farmers who tend to be cautious in adopting new innovations. Then, it accelerated from steps 2 to 8, before stagnating until time step 12. At this stage, adoption occurred among the early adopters and the early majority. After step 15, the diffusion rate gradually increased, reflecting increasing social influence. The diffusion rate then reached saturation, reflected by a relatively flat graph starting at time step 40. By step 45, the number of adopters had reached only 300, or 85.71% of the population. This condition aligns with empirical evidence that suggests the adoption rate of drip irrigation never reaches the entire population. In general, the diffusion pattern from this simulation reflects the unique characteristics of agricultural technology adoption. The simulation results indicate that there are groups within the population that are not reached, namely laggards. This condition is caused by: (i) the limited land area cultivated by farmers, with 68.5% of respondent farmers cultivating land less than 5,000 m². Consequently, many farmers believe that using drip irrigation technology is uneconomical because the initial investment and operational costs are not commensurate with the potential increase in production from small plots; (ii) the high initial investment costs. This is in line with the opinion of Postel et al., who stated that the initial cost of a drip irrigation system is a major obstacle to adoption,

especially in developing countries (Sandra Postel, Paul Polak, and Keller 2001); (iii) the unavailability of credit facilities or financing schemes. Smallholder farmers often lack collateral, credit history, or access to formal financial institutions (non-bankable), so they lack investment capacity and are reluctant to bear the risk of failure to adopt the technology (Meijer et al. 2015). Based on the results of modeling and simulations conducted, several strategies have been developed to expand and/or accelerate the adoption of drip irrigation for smallholder farmers. These strategies are: (i) financing schemes and/or subsidies for drip irrigation investment; (ii) increasing farmer confidence in drip irrigation; (iii) increasing access to technology; (iv) strengthening farmer institutional capacity; and (v) promoting collective and communal-scale adoption. Based on the premise that the adoption of this technology is crucial in supporting food security, which is a national strategic issue, the government's role in implementing these strategies is inevitable.

Keywords: Adoption, Agent-Based Modeling, Bayesian Network, Diffusion, Drip Irrigation



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

© Hak Cipta Milik IPB, Tahun 2025
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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



@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

**PEMODELAN DIFUSI TEKNOLOGI IRIGASI TETES PADA
PETANI CABAI DI KABUPATEN BANYUWANGI
MENGUNAKAN *AGENT-BASED MODELLING* DAN
*BAYESIAN NETWORK***

SIDIK PERMANA ALI MUHTAJ

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains
pada
Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan

**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1. Irman Hermadi, S. Kom, M.S., Ph.D.



Judul Disertasi : Pemodelan Difusi Teknologi Irigasi Tetes pada Petani Cabai di Kabupaten Banyuwangi Menggunakan *Agent-Based Modelling* dan *Bayesian Network*

Nama : Sidik Permana Ali Muhtaj
NIM : P0502211026

Disetujui oleh

Pembimbing 1
Prof. Dr. Ir. Kudang Boro Seminar, M.Sc.



Pembimbing 2
Dr. Elisa Anggraeni, S.T.P., M.Sc.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi
Ilmu Pengelolaan
Sumberdaya Alam dan Lingkungan:
Prof. Dr. Ir. Hadi Susilo Arifin, M.S.
NIP. 19591106 198501 1 001



Dekan Sekolah Pascasarjana:
Prof. Dr. Ir. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc.F.Trop.
NIP. 197003291996081001



Tanggal Ujian Tesis:
11 Agustus 2025

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga karya ilmiah dengan Judul Pemodelan Difusi Teknologi Irigasi Tetes pada Petani Cabai Menggunakan Agent-Based Modelling dan Bayesian Network ini dapat diselesaikan. Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Januari 2025 hingga Juli 2025 dengan lokasi penelitian di Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur.

Selama proses penyusunan tesis ini, penulis mendapat banyak dukungan dan bantuan dari berbagai pihak guna membantu lancarnya penelitian ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang mendalam kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Kudang Boro Seminar, M.Sc. dan Ibu Dr. Elisa Anggraeni, S.T.P., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu, membimbing, dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
2. Ibunda Yayah Ashriyah dan Ayahanda Momon Syarifudin (alm) yang telah membesarkan dan mendidik serta selalu mendoakan penulis.
3. Istri tercinta Santia Saptinary serta putra-putri tercinta, Saladin Tsakib Majid Permana, Sybilla Humaira Permana dan Savasci Ayubi Permana, yang menjadi sumber motivasi dan kekuatan penulis.
4. Adik-adik Dede, Rina, Eneng, Farel dan Doly, terima kasih atas bantuan dan doanya.
5. Rekan-rekan seperjuangan di PSL Angkatan 2021 yang banyak membantu dan memberi semangat.
6. Teman-teman dari Bandung dan Bogor yang selalu memberi semangat, bantuan, kritik, dan saran kepada penulis.
7. Teman-teman di Banyuwangi yang banyak membantu dalam pengumpulan data lapangan.
8. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat.

Bogor, Agustus 2025

Sidik Permana Ali Muhtaj



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Kerangka Pikir Penelitian	4
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kemandirian Pangan dan Pembangunan Pertanian Berkelanjutan	6
2.2 Karakteristik Petani di Indonesia	6
2.3 Teknologi Irigasi Tetes	7
2.4 Adopsi dan Difusi Teknologi	8
2.5 Bayesian <i>Network</i> dan <i>Agent-Based Modelling</i>	10
METODE	13
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	13
3.2 Alat dan Bahan	13
3.3 Jenis Data yang Digunakan	14
3.4 Tahapan Penelitian	15
3.5 Metode Pengumpulan Data	15
3.6 Pengembangan Kerangka Kerja Penelitian	16
PENGEMBANGAN MODEL DAN PEMBAHASAN HASIL	20
4.1 Karakteristik Umum Petani di Lokasi Penelitian	20
4.2 Pengolahan Data Hasil Survey	20
4.3 Model Bayesian Network Adopsi Teknologi Irigasi Tetes	22
4.4 <i>Agent-Based Modelling</i> Difusi Teknologi Irigasi Tetes	32
4.5 Strategi Percepatan Dan Perluasan Difusi Teknologi Irigasi Tetes pada Masyarakat Petani	38
SIMPULAN DAN SARAN	42
5.1 Simpulan	42
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	49
RIWAYAT HIDUP	90



@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

DAFTAR TABEL

1.1	Data beberapa negara pengguna irigasi tetes di dunia	3
3.1	Jenis responden dalam penelitian beserta data atau informasi yang diharapkan dari responden	14
3.2	Data sekunder yang digunakan dalam penelitian	15
3.3	Jenis dan jumlah responden	17
3.4	Dimensi dan atribut petani dalam mengambil keputusan	18
3.5	Komponen <i>Agent-Based Model</i>	18
3.6	Prosedur penelitian	15
4.1	Temuan hasil survey lapangan	25
4.2	Penjelasan node dan simbolisasinya dalam model <i>Bayesian Network</i>	27
4.3	Hasil pengolahan data untuk digunakan dalam model Bayesian Network	28
4.4	Hasil normalisasi dan laplace smoothing data survey sekaligus Conditional Probability Distribution (CPD) untuk parent node	29
4.5	Lima <i>state</i> pertama CPD X11	29
4.6	Lima <i>state</i> pertama CPD X12	29
4.7	Lima <i>state</i> pertama CPD X13	30
4.8	Lima <i>state</i> pertama CPD X14	30
4.9	Lima <i>state</i> pertama CPD X15	30
4.10	Lima <i>state</i> pertama CPD adopsi	30
4.11	Probabilitas adopsi irigasi tetes hasil pemodelan	30
4.12	Hasil analisis sensitivitas model <i>Bayesian Network</i>	31
4.13	Jumlah petani cabai di lokasi survey	32
4.14	Jumlah agen tiap kategori dengan menggunakan pendekatan super-agen	32
4.15	Hasil pembangkitan agen sintesis untuk Agen A1-A20	33
4.16	Hasil simulasi difusi <i>Agent-Based Model</i>	34
4.17	Perbandingan hasil simulasi difusi dengan Teori Rogers	37
4.18	Skema subsidi irigasi tetes di India	39

DAFTAR GAMBAR

1.1	Nilai ekspor, impor dan neraca perdagangan komoditas pertanian dalam miliar USD	2
1.2	Kerangka pikir penelitian	5
2.1	Kurva-S adopsi teknologi	9
2.2	Struktur <i>generik agent-based model</i> , sebagaimana dalam <i>sugarscape</i>	11
3.1	Peta lokasi penelitian	13
3.2	Diagram alir penelitian	16
4.1	Lokasi lahan pengguna irigasi tetes	20
4.2	<i>Preliminary Model Bayesian Network</i>	22
4.3	Model <i>Bayesian Network</i> yang diperbaharui	23
4.4	Hasil simbolisasi model <i>Bayesian Network</i>	27
4.5	Grafik hasil simulasi difusi teknologi	36
4.6	Perbandingan Hasil Simulasi ABM dan Kurva-S Rogers	37

DAFTAR LAMPIRAN

1	Kuesioner penelitian	49
2	Tabel atribut agen sintesis pada kondisi awal (<i>initial condition</i>)	69
3	<i>Source code python</i> untuk dijalankan di Jupyter Notebook	76

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

