Pengembangan Model Sosiofisika Viskoelastik untuk Sejarah Agraria Indonesia

Program Talenta Unggul 3P Tahun 2026

Jenis Penelitian: Program | Kode Proyek: DRI.PN-6-64-2026

Alfita P. Handayani[1,2], Sandy H. S. Herho[1,3]
[1]Pusat Studi Agraria, Institut Teknologi Bandung; [2]KK Spasial dan Sistem Kadaster, FITB, ITB
[3]Department of Earth and Planetary Sciences, University of California, Riverside, USA

1. Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengembangkan pendekatan kuantitatif untuk memahami dinamika sejarah penguasaan dan kepemilikan tanah di Indonesia sejak kemerdekaan hingga masa kontemporer melalui integrasi pendekatan sosiofisika, mekanika statistik non-ekuilibrium, dan analisis ekonomi-politik agraria. Penelitian ini mengembangkan model *Viscoelastic Agrarian Lattice* (VAL), yaitu model matematis yang merepresentasikan dinamika penguasaan tanah sebagai suatu sistem kompleks yang dipengaruhi oleh interaksi kebijakan pemerintah, resistensi birokrasi lokal, serta perubahan kondisi sosial-politik. Model ini mengintegrasikan persamaan diferensial parsial stokastik (SPDE) dengan konsep *active adaptive disorder* untuk menjelaskan fenomena ketidakstabilan, persistensi konflik, dan perubahan struktur penguasaan tanah dalam berbagai periode sejarah agraria Indonesia.

Metode penelitian dilakukan melalui formulasi matematis, implementasi simulasi numerik menggunakan Python, analisis transisi fase historis, ekstraksi eksponen kritis melalui pendekatan *finite-size scaling*, serta validasi kualitatif menggunakan catatan sejarah, instrumen hukum agraria, dan dokumentasi konflik pertanahan. Penelitian ini juga menargetkan pengembangan perangkat lunak bersumber terbuka bernama **badega** yang dapat dimanfaatkan untuk simulasi dan analisis dinamika agraria. Luaran utama yang ditargetkan adalah publikasi pada jurnal internasional bereputasi Q1 dan pengembangan perangkat lunak yang terdokumentasi serta dapat direproduksi. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi metodologis baru dalam kajian agraria melalui pengintegrasian ilmu kebumian, studi kadaster, fisika statistik, komputasi, dan ilmu sosial untuk memahami kompleksitas permasalahan penguasaan tanah di Indonesia.

Kata kunci: sosiofisika, mekanika statistik non-ekuilibrium, SPDE, transisi fase, sejarah agraria Indonesia.

2. Tujuan Proyek

Pelaksanaan proyek ini memiliki empat tujuan utama:

1. Mengembangkan dan memvalidasi model VAL sebagai pendekatan matematis untuk merepresentasikan dinamika sejarah penguasaan tanah di Indonesia, termasuk interaksi antara kebijakan pemerintah, kondisi sosial-politik, dan resistensi kelembagaan.
2. Mengidentifikasi karakteristik dinamika dan transisi fase konflik agraria melalui analisis simulasi numerik dan ekstraksi eksponen kritis menggunakan pendekatan *finite-size scaling*, sehingga diperoleh pemahaman kuantitatif mengenai pola perubahan dan distribusi konflik agraria.
3. Membangun keterkaitan antara hasil pemodelan kuantitatif dan konteks historis agraria Indonesia, melalui validasi terhadap catatan konflik pertanahan, kebijakan agraria, serta perkembangan rezim penguasaan tanah sejak periode kemerdekaan hingga saat ini.
4. Menghasilkan luaran penelitian yang dapat dimanfaatkan secara luas, berupa publikasi ilmiah pada jurnal internasional bereputasi Q1 serta pengembangan perangkat lunak **badega** berbasis Python dengan lisensi terbuka.

3. Keberhasilan Pencapaian Tujuan

Pelaksanaan proyek menunjukkan arah pencapaian yang baik dalam pengembangan pendekatan penelitian interdisipliner untuk memahami dinamika agraria Indonesia:

1. **Pengembangan kerangka model penelitian.** Telah dirumuskan pendekatan pemodelan VAL yang mengintegrasikan mekanika statistik non-ekuilibrium dengan perspektif ekonomi-politik agraria, sebagai landasan metodologis untuk menganalisis dinamika penguasaan tanah dan konflik agraria secara lebih sistematis dan kuantitatif.
2. **Pengembangan pendekatan komputasi.** Penelitian telah memiliki rancangan implementasi numerik menggunakan Python, termasuk simulasi sistem persamaan diferensial parsial stokastik, analisis transisi fase, dan pengujian parameter model.
3. **Penguatan integrasi historis dan kelembagaan.** Telah dibangun kerangka untuk menghubungkan dinamika model dengan berbagai periode sejarah agraria Indonesia serta instrumen kebijakan penting, seperti UUPA Tahun 1960, PP No. 224 Tahun 1961, dan UU No. 2 Tahun 2012.

4. Sinergi dengan Proyek Lain

Proyek ini memiliki potensi sinergi yang kuat dengan berbagai kegiatan penelitian dan pengembangan keilmuan di lingkungan Institut Teknologi Bandung, khususnya dalam bidang keagrariaan, sistem kadaster, ilmu kebumian, komputasi, dan ilmu sosial, yang diwujudkan melalui:

1. **Sinergi keilmuan dan lintas kelompok keahlian.** Kolaborasi antara Pusat Studi Agraria ITB, Kelompok Keahlian Spasial dan Sistem Kadaster, serta Kelompok Keahlian Oseanografi Terapan dan Lingkungan memungkinkan pendekatan yang mengintegrasikan perspektif pengelolaan pertanahan, dinamika spasial, dan pemodelan sistem kompleks.
2. **Sinergi dengan agenda riset Pusat Studi Agraria ITB.** Hasil penelitian mendukung penguatan kapasitas PSA dalam mengembangkan riset agraria yang tidak hanya bersifat deskriptif dan kualitatif, tetapi juga memanfaatkan pemodelan matematis dan komputasi untuk menghasilkan analisis yang lebih mendalam.
3. **Sinergi dengan riset komputasi dan sistem kompleks.** Pengembangan model VAL dan perangkat lunak **badega** berkaitan erat dengan pengembangan metode komputasi ilmiah, analisis sistem dinamik, serta pemodelan fenomena sosial berbasis pendekatan kuantitatif.

5. Manfaat Proyek

Proyek ini memberikan manfaat pada aspek akademik, metodologis, teknologi, kelembagaan, dan kebijakan:

1. **Akademik:** kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan melalui pendekatan interdisipliner yang mengintegrasikan sosiofisika, ilmu agraria, studi kadaster, mekanika statistik, dan ilmu sosial dalam memahami dinamika penguasaan tanah.
2. **Metodologis:** kerangka pemodelan kuantitatif untuk menganalisis kompleksitas sejarah agraria dan pola konflik pertanahan, yang melengkapi pendekatan penelitian agraria yang selama ini banyak bertumpu pada analisis kualitatif.
3. **Teknologi:** perangkat lunak **badega** berbasis Python yang direncanakan bersifat *open-source*, sehingga dapat dimanfaatkan oleh peneliti, akademisi, dan mahasiswa untuk simulasi dan penelitian lanjutan.
4. **Kelembagaan:** penguatan kapasitas dan reputasi Pusat Studi Agraria ITB dalam menghasilkan penelitian interdisipliner yang berorientasi pada publikasi internasional dan inovasi penelitian.
5. **Kebijakan:** perspektif dan instrumen analisis tambahan untuk memahami dinamika penguasaan tanah, persistensi konflik agraria, serta hubungan antara kebijakan pemerintah dan perubahan struktur penguasaan lahan.

6. Luaran Proyek

Selama pelaksanaan program, telah dihasilkan luaran publikasi dan perangkat lunak berikut (Gambar 1 dan 2):

1. **Jurnal internasional bereputasi (Scopus Q1).** *Causal attribution of coastal water clarity degradation to nickel processing expansion at the Indonesia Morowali Industrial Park, Sulawesi.* Environmental Research Communications 8 (2026) 065058. https://doi.org/10.1088/2515-7620/ae7b00
2. **Jurnal internasional bereputasi (Scopus Q2).** *Dewi-Kadita: a python library for idealized fish schooling simulation with entropy-based diagnostics.* Journal of Physics Communications 10 (2026) 065002. https://doi.org/10.1088/2399-6528/ae7177
3. **Jurnal internasional bereputasi (Scopus Q1), naskah diterima (*accepted*).** *The Hearth Beneath the Drone: Social Reproduction and 3D Heritage Documentation in West Sumba, Indonesia.* Frontiers in Sociology; saat ini dalam tahap produksi (*typesetting* dan *copyediting*).
4. **Perangkat lunak (dalam proses pendaftaran HAKI). antasena** v0.0.3, pustaka dan aplikasi desktop Python untuk perhitungan selam nitrox yang rigor dan edukatif, sedang diajukan pendaftaran HAKI sebagai luaran Talenta Unggul.
   Tautan antasena (diajukan HAKI):
   Zenodo: https://doi.org/10.5281/zenodo.23410341
   GitHub: https://github.com/sandyherho/antasena
   Dokumentasi: https://antasena.readthedocs.io/en/latest/index.html

7. Rencana Kelanjutan

Untuk memastikan keberlanjutan hasil penelitian dan memperluas dampaknya, direncanakan:

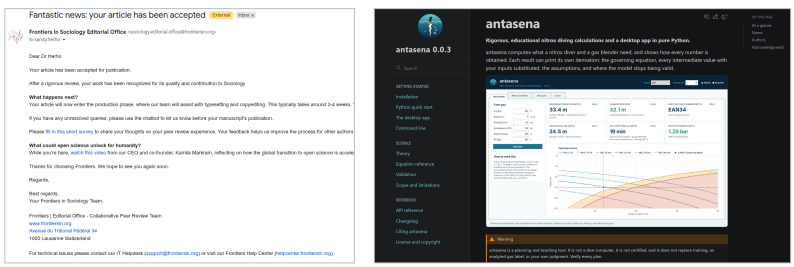
1. **Penyempurnaan dan penguatan model VAL** melalui pengujian parameter, analisis sensitivitas, dan validasi terhadap berbagai studi kasus konflik agraria di Indonesia.
2. **Penguatan basis data penelitian** melalui kompilasi data historis dan dokumentasi konflik agraria yang lebih sistematis untuk mendukung kalibrasi serta validasi model secara empiris.
3. **Penguatan jejaring kolaborasi penelitian** dengan institusi penelitian dan universitas, baik di tingkat nasional maupun internasional, untuk mengembangkan pendekatan pemodelan agraria yang lebih komprehensif.

Pindai untuk mengakses luaran:

ERC (Scopus Q1) | JPCO (Scopus Q2) | antasena (Zenodo) | antasena (GitHub) | antasena (Dokumentasi)



Gambar 1. Artikel ERC (Scopus Q1) dan JPCO (Scopus Q2), serta naskah accepted *Frontiers in Sociology (Scopus Q1).*



Gambar 2. Surat penerimaan Frontiers in Sociology (kiri) dan dokumentasi antasena v0.0.3 yang diajukan HAKI (kanan).