



Dampak Pola Tanam Tumpangsari Jagung dan Kedelai terhadap Produktivitas dan Kesuburan Tanah pada Lahan Kering

Impact of Corn and Soybean Intercropping Patterns on Soil Productivity and Fertility in Dry Land

Dora Silvia Dewi¹, Ahmad Nadhira^{2*}

¹Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia

²Universitas Tjut Nyak Dhien Medan

Corresponding Author*: nadhira@utnd.ac.id

Abstrak

Lahan kering merupakan salah satu tantangan utama dalam pengembangan pertanian di Indonesia karena karakteristiknya yang cenderung miskin unsur hara, memiliki kadar bahan organik rendah, dan ketersediaan air terbatas. Untuk mengatasi tantangan tersebut, sistem tumpangsari antara tanaman sereal dan leguminosa telah banyak direkomendasikan sebagai solusi adaptif terhadap kondisi agroekologi marginal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh pola tanam tumpangsari jagung (*Zea mays* L.) dan kedelai (*Glycine max* L.) terhadap produktivitas tanaman dan perubahan karakteristik kesuburan tanah di lahan kering. Metode yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) satu faktor dengan tiga perlakuan, yaitu: monokultur jagung, monokultur kedelai, dan tumpangsari jagung-kedelai, masing-masing diulang tiga kali. Parameter yang diamati meliputi hasil panen jagung dan kedelai, nilai *Land Equivalent Ratio* (LER), serta perubahan sifat kimia tanah (pH, N-total, bahan organik, dan KTK). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem tumpangsari memberikan nilai LER sebesar 1,29, yang menunjukkan efisiensi penggunaan lahan sebesar 29% lebih tinggi dibandingkan sistem monokultur. Hasil gabungan panen pada tumpangsari (5,5 ton/ha jagung dan 1,5 ton/ha kedelai) relatif lebih menguntungkan secara total. Selain itu, tumpangsari berkontribusi positif terhadap peningkatan kadar nitrogen total (dari 0,12% menjadi 0,17%), bahan organik tanah (dari 1,4% menjadi 2,0%), serta kapasitas tukar kation (KTK) tanah (dari 12,5 menjadi 14,0 cmol/kg). Peningkatan kesuburan ini dikaitkan dengan peran kedelai sebagai tanaman leguminosa yang mampu melakukan fiksasi nitrogen dan memperbaiki kualitas tanah melalui biomassa akar dan guguran daun (Ladha et al., 2016; Kumar et al., 2018). Dengan demikian, sistem tumpangsari jagung dan kedelai terbukti tidak hanya meningkatkan produktivitas lahan tetapi juga memperbaiki kualitas tanah, sehingga berpotensi sebagai model pertanian berkelanjutan untuk lahan kering. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan pendekatan multimusim dan analisis mikrobiologis untuk mengkaji dampak jangka panjang terhadap ekosistem tanah secara menyeluruh.

Kata kunci: Tumpangsari, jagung, kedelai, produktivitas, kesuburan tanah, lahan kering.

Abstract

*Dryland is one of the main challenges in agricultural development in Indonesia because of its characteristics which tend to be poor in nutrients, have low organic matter content, and limited water availability. To overcome these challenges, the intercropping system between cereals and legumes has been widely recommended as an adaptive solution to marginal agroecological conditions. This study aims to evaluate the effect of corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.) intercropping patterns on plant productivity and changes in soil fertility characteristics in dryland. The method used was a one-factor Randomized Block Design (RAK) with three treatments, namely: corn monoculture,*



soybean monoculture, and corn–soybean intercropping, each repeated three times. The parameters observed included corn and soybean yields, Land Equivalent Ratio (LER) values, and changes in soil chemical properties (pH, N-total, organic matter, and CEC). The results showed that the intercropping system provided an LER value of 1.29, which indicated a 29% higher land use efficiency compared to the monoculture system. The combined yield of intercropping (5.5 tons/ha of corn and 1.5 tons/ha of soybean) was relatively more profitable in total. In addition, intercropping contributed positively to increasing total nitrogen levels (from 0.12% to 0.17%), soil organic matter (from 1.4% to 2.0%), and soil cation exchange capacity (CEC) (from 12.5 to 14.0 cmol/kg). This increase in fertility is associated with the role of soybean as a legume that is able to fix nitrogen and improve soil quality through root biomass and leaf fall (Ladha et al., 2016; Kumar et al., 2018). Thus, the corn and soybean intercropping system has been proven to not only increase land productivity but also improve soil quality, so it has the potential as a sustainable agricultural model for drylands. Further research is needed with a multi-season approach and microbiological analysis to assess the long-term impact on the soil ecosystem as a whole.

Keywords: Intercropping, corn, soybean, productivity, soil fertility, drylands.

PENDAHULUAN

Pertanian lahan kering di Indonesia menghadapi tantangan yang cukup kompleks, terutama terkait ketersediaan air yang terbatas, rendahnya kesuburan tanah, dan ketergantungan pada sistem pertanian konvensional yang kurang adaptif terhadap kondisi agroekosistem marginal. Lahan kering umumnya memiliki kandungan bahan organik dan unsur hara makro yang rendah, serta daya simpan air yang terbatas (Wahyunto et al., 2015). Dalam jangka panjang, pengelolaan lahan yang tidak memperhatikan konservasi dan perbaikan kualitas tanah dapat menyebabkan penurunan produktivitas secara signifikan.

Salah satu pendekatan yang telah banyak dikaji untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan lahan dan mempertahankan produktivitas adalah sistem tumpangsari (*intercropping*). Tumpangsari merupakan pola tanam di mana dua atau lebih jenis tanaman ditanam secara bersamaan pada lahan yang sama dalam satu musim tanam. Menurut Willey (1979), sistem tumpangsari memungkinkan terjadinya pemanfaatan sinergis terhadap cahaya, air, dan hara tanah oleh tanaman yang berbeda, sehingga meningkatkan hasil gabungan dibandingkan sistem monokultur.

Jagung (*Zea mays* L.) dan kedelai (*Glycine max* L.) merupakan dua komoditas strategis yang banyak dibudidayakan di lahan kering dan memiliki karakteristik fisiologis yang saling melengkapi. Jagung dikenal sebagai tanaman dengan kebutuhan nitrogen tinggi, sedangkan kedelai, sebagai tanaman leguminosa, mampu melakukan fiksasi nitrogen melalui simbiosis dengan bakteri *Rhizobium* di akar. Kombinasi ini diyakini dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan nitrogen tanah dan memperbaiki kandungan hara tanah secara alami (Subandi et al., 2010). Selain itu, sistem tumpangsari jagung–kedelai berpotensi meningkatkan nilai Land Equivalent Ratio (LER), yaitu indikator efisiensi penggunaan lahan dalam sistem pertanaman campuran (Saragih et al., 2022).

Dalam konteks peningkatan kesuburan tanah, tanaman leguminosa seperti kedelai dapat berperan sebagai agen biologis yang memperkaya tanah melalui fiksasi nitrogen, penambahan bahan organik dari guguran daun, dan pelapukan biomassa akar. Kegiatan biologis ini memiliki pengaruh jangka panjang terhadap perbaikan struktur dan kapasitas tukar kation tanah (Kumar et al., 2018). Oleh karena itu, penggabungan jagung dan kedelai dalam satu sistem tanam dapat memberikan manfaat ekologis maupun ekonomis yang lebih besar dibandingkan monokultur.

Namun, penerapan sistem tumpangsari perlu diuji secara empirik untuk memastikan pengaruhnya terhadap produktivitas tanaman dan kualitas tanah, khususnya di lingkungan lahan kering yang memiliki tekanan ekologi lebih tinggi dibandingkan lahan irigasi. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji secara komprehensif dampak dari pola tanam

tumpangsari jagung dan kedelai terhadap produktivitas tanaman dan kesuburan tanah pada lahan kering.

Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh pola tanam tumpangsari jagung dan kedelai terhadap hasil panen masing-masing tanaman?
2. Bagaimana dampak tumpangsari terhadap perubahan sifat kimia tanah sebagai indikator kesuburan tanah?

KAJIAN PUSTAKA

1. Sistem Pertanian Lahan Kering

Lahan kering adalah kawasan budidaya pertanian yang memiliki ketersediaan air terbatas karena tidak dilengkapi sistem irigasi permanen dan sangat tergantung pada curah hujan musiman. Menurut Wahyunto et al. (2015), lebih dari 70% lahan pertanian di Indonesia diklasifikasikan sebagai lahan kering, yang tersebar luas di wilayah Nusa Tenggara, Sulawesi, Maluku, dan sebagian Jawa bagian selatan. Karakteristik lahan kering antara lain miskin unsur hara, kandungan bahan organik rendah, serta mengalami degradasi karena erosi atau eksploitasi berlebihan.

Oleh karena itu, sistem pengelolaan pertanian yang adaptif terhadap kondisi tersebut sangat diperlukan. Salah satu alternatif yang banyak dikembangkan adalah penggunaan sistem pertanian campuran seperti tumpangsari yang mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya (Ariyanto & Setiawan, 2021). Sistem tumpangsari dianggap cocok untuk meningkatkan produktivitas lahan kering sekaligus menjaga stabilitas ekosistem tanah.

2. Konsep dan Prinsip Tumpangsari

Tumpangsari (intercropping) adalah teknik budidaya dua atau lebih jenis tanaman secara bersamaan pada sebidang lahan dalam satu musim tanam. Menurut Willey (1979), sistem tumpangsari dapat memberikan keunggulan kompetitif karena tanaman yang berbeda memanfaatkan sumber daya tanah dan lingkungan dengan cara yang saling melengkapi. Misalnya, tanaman berakar dangkal memanfaatkan lapisan atas tanah, sedangkan tanaman berakar dalam mengambil air dan nutrisi dari lapisan bawah.

Lebih lanjut, sistem tumpangsari mampu meningkatkan indeks efisiensi lahan yang diukur melalui *Land Equivalent Ratio* (LER). Nilai LER > 1 menunjukkan bahwa produksi dari sistem tumpangsari lebih tinggi dibandingkan penanaman secara monokultur pada luasan yang sama (Saragih et al., 2022). Efisiensi ini tidak hanya berdampak pada hasil panen, tetapi juga dapat memperbaiki struktur tanah melalui diversifikasi biomassa akar dan pelapukan residu organik.

3. Karakteristik Jagung dan Kedelai dalam Sistem Tumpangsari

Jagung (*Zea mays* L.) merupakan tanaman sereal yang banyak dibudidayakan di lahan kering karena adaptif terhadap berbagai kondisi tanah dan iklim. Tanaman ini memiliki kebutuhan nitrogen yang tinggi untuk menunjang pertumbuhannya (Subandi et al., 2010). Sementara itu, kedelai (*Glycine max* L.) merupakan tanaman leguminosa yang mampu bersimbiosis dengan bakteri *Rhizobium* dalam membentuk bintil akar yang berfungsi mengikat nitrogen dari atmosfer. Mekanisme ini memungkinkan tanaman kedelai menyediakan nitrogen secara alami untuk dirinya sendiri dan juga tanaman lain di sekitarnya (Kumar et al., 2018).

Dalam sistem tumpangsari, kombinasi jagung dan kedelai dianggap saling menguntungkan. Kedelai membantu meningkatkan ketersediaan nitrogen dalam tanah, yang secara tidak langsung juga mendukung pertumbuhan jagung. Sebaliknya, jagung dapat memberikan naungan parsial yang mengurangi evaporasi air dari tanah, suatu hal yang krusial dalam kondisi lahan kering (Prasetyo et al., 2019).

4. Pengaruh Tumpangsari terhadap Produktivitas Tanaman

Banyak studi menunjukkan bahwa sistem tumpangsari antara tanaman sereal dan leguminosa dapat meningkatkan total produktivitas dibandingkan dengan sistem tanam tunggal. Misalnya, penelitian oleh Saragih et al. (2022) menyebutkan bahwa tumpangsari jagung dan kedelai menghasilkan nilai LER sebesar 1,25 yang berarti sistem tersebut 25% lebih efisien dibandingkan sistem monokultur. Selain itu, kombinasi dua tanaman yang memiliki pola pertumbuhan berbeda memungkinkan pemanfaatan waktu dan ruang secara optimal. Jagung tumbuh lebih tinggi dan memiliki periode pertumbuhan lebih panjang, sedangkan kedelai tumbuh lebih cepat namun memiliki siklus hidup yang lebih pendek. Kombinasi ini meminimalkan kompetisi dan memaksimalkan hasil panen total (Kasozi et al., 2019).

5. Pengaruh Tumpangsari terhadap Kesuburan Tanah

Kesuburan tanah merupakan faktor kunci dalam pertanian berkelanjutan. Sistem tanam tumpangsari berpotensi meningkatkan kesuburan tanah melalui berbagai cara, seperti penambahan biomassa organik dari dua jenis residu tanaman, peningkatan aktivitas mikroba tanah, dan fiksasi nitrogen oleh tanaman leguminosa. Menurut Ladha et al. (2016), tanaman leguminosa yang ditanam bersama tanaman sereal dalam satu lahan dapat meningkatkan kadar nitrogen total dan bahan organik tanah secara signifikan dibandingkan sistem monokultur. Selain itu, keberadaan tanaman dengan struktur akar yang berbeda membantu meningkatkan aerasi dan struktur tanah. Kombinasi ini mempercepat siklus nutrisi dan meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah, sehingga unsur hara lebih mudah tersedia bagi tanaman (Handayanto et al., 2013).

METODE PENELITIAN

1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lahan kering Desa Sukamulya, Kecamatan Cisayong, Kabupaten Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat. Lokasi ini dipilih karena memiliki karakteristik lahan kering dengan curah hujan < 1500 mm/tahun, tekstur tanah berpasir hingga lempung berpasir, dan sistem pengairan yang hanya mengandalkan hujan. Penelitian dilakukan selama satu musim tanam, yaitu dari bulan Maret hingga Juli 2025. Pemilihan lokasi dilakukan secara purposive, dengan pertimbangan bahwa wilayah tersebut merupakan representasi umum dari kondisi agroekologi lahan kering tropis (Wahyunto et al., 2015).

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) satu faktor, yang terdiri dari tiga perlakuan pola tanam, dengan masing-masing perlakuan diulang tiga kali. Setiap petak perlakuan memiliki ukuran 5 m × 4 m (20 m²) dengan jarak antar petak 1 meter. RAK dipilih untuk mengurangi pengaruh variasi lingkungan mikro pada lahan yang heterogen (Gomez & Gomez, 1984).

a. Perlakuan

Tiga perlakuan pola tanam yang diuji dalam penelitian ini adalah:

- 1) **P1**: Monokultur jagung
- 2) **P2**: Monokultur kedelai
- 3) **P3**: Tumpangsari jagung dan kedelai (1 baris jagung : 1 baris kedelai)

Pemilihan kombinasi ini didasarkan pada referensi agronomis yang menunjukkan bahwa proporsi tanam 1:1 memberikan interaksi simbiotik optimal dan efisiensi lahan yang tinggi (Subandi et al., 2010).

b. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: benih jagung varietas Bisi-18, benih kedelai varietas Anjasmoro, pupuk urea, SP-36, KCl, air untuk penyiraman (jika diperlukan), dan bahan organik berupa pupuk kandang. Alat-alat yang digunakan mencakup: cangkul, meteran, tali ukur, alat semai, timbangan digital, oven tanah, bor tanah, serta alat analisis tanah (pH meter, spektrofotometer, dan Kjeldahl set).

c. Parameter yang Diamati

Penelitian ini mengamati dua kelompok parameter utama: produktivitas tanaman dan kesuburan tanah.

1) Produktivitas Tanaman

Parameter produktivitas tanaman yang diamati meliputi:

- Tinggi tanaman (cm)
- Jumlah daun
- Jumlah polong (untuk kedelai)
- Jumlah tongkol (untuk jagung)
- Bobot kering hasil panen per petak (kg)
- Hasil ubinan (ton/ha)
- Nilai *Land Equivalent Ratio* (LER)

LER dihitung berdasarkan rumus Willey (1979):

Nilai $LER > 1$ menunjukkan keunggulan sistem tumpangsari dibanding monokultur.

2) Kesuburan Tanah

Sifat kimia tanah yang diamati sebelum dan sesudah perlakuan:

- pH tanah (H_2O)
- Kadar nitrogen total (N-total) (%)
- Kandungan bahan organik tanah (%)
- Kapasitas Tukar Kation (KTK) (cmol/kg)

Pengambilan sampel tanah dilakukan dari kedalaman 0–20 cm di setiap petak, kemudian dianalisis di laboratorium tanah menggunakan metode standar (Sutedjo, 2002).

3. Teknik Pengumpulan Data

Data primer dikumpulkan melalui pengamatan langsung di lapangan dan pengukuran hasil tanaman. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari hasil analisis laboratorium tanah. Semua data dicatat secara sistematis menggunakan format lembar kerja pengamatan.

4. Teknik Analisis Data

Data kuantitatif dianalisis menggunakan **analisis varians (ANOVA)** untuk melihat pengaruh perlakuan terhadap parameter yang diamati. Jika terdapat perbedaan nyata antar

perlakuan, maka dilanjutkan dengan **uji Beda Nyata Jujur (BNJ)** pada taraf 5% menggunakan perangkat lunak SPSS atau Excel. Analisis ANOVA digunakan untuk mengetahui signifikansi perbedaan antar perlakuan dan efisiensi pola tanam. Penggunaan uji BNJ dimaksudkan untuk mengetahui pasangan perlakuan mana yang memberikan perbedaan nyata terhadap hasil pengamatan (Steel & Torrie, 1993).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Produktivitas Tanaman

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola tanam tumpangsari antara jagung dan kedelai menghasilkan nilai produktivitas yang lebih tinggi secara keseluruhan dibandingkan sistem monokultur. Data hasil panen menunjukkan bahwa:

- a. **Jagung monokultur** menghasilkan rata-rata 6,2 ton/ha
- b. **Kedelai monokultur** menghasilkan rata-rata 1,8 ton/ha
- c. **Tumpangsari jagung kedelai** menghasilkan 5,5 ton/ha jagung dan 1,5 ton/ha kedelai.

Meskipun hasil per tanaman menurun dalam sistem tumpangsari, efisiensi penggunaan lahan meningkat, yang ditunjukkan oleh nilai Land Equivalent Ratio (LER) sebesar 1,29. Nilai ini berarti bahwa penanaman tumpangsari 29% lebih efisien dibandingkan penanaman terpisah (monokultur).

Hasil ini sejalan dengan temuan Saragih et al. (2022), yang melaporkan bahwa sistem tumpangsari jagung–kedelai menghasilkan nilai LER sebesar >1,2 dan menunjukkan adanya sinergi dalam pemanfaatan sumber daya. Selain itu, Willey (1979) menyatakan bahwa LER > 1 menunjukkan adanya keunggulan kompetitif sistem tumpangsari terhadap sistem monokultur.

Turunnya hasil per tanaman dalam tumpangsari kemungkinan besar disebabkan oleh kompetisi antar tanaman, baik dalam hal cahaya, air, maupun nutrisi. Namun, penurunan tersebut tidak mengurangi keunggulan sistem tumpangsari secara keseluruhan karena kombinasi dua hasil panen lebih menguntungkan dari segi total produktivitas (Prasetyo et al., 2019).

2. Efisiensi Penggunaan Lahan

Penggunaan indeks efisiensi lahan (LER) memberikan gambaran tentang bagaimana sistem tumpangsari mampu mengoptimalkan ruang dan waktu tumbuh. Dengan nilai LER sebesar 1,29, artinya luas lahan yang dibutuhkan untuk menghasilkan panen yang sama secara monokultur adalah 29% lebih luas dibandingkan sistem tumpangsari (Willey, 1979).

Hal ini menunjukkan bahwa sistem tumpangsari cocok diterapkan di lahan kering yang memiliki keterbatasan ruang dan sumber daya, karena dapat meningkatkan produksi tanpa perlu perluasan lahan.

3. Perubahan Kesuburan Tanah

Analisis tanah yang dilakukan sebelum dan sesudah perlakuan menunjukkan adanya perubahan positif pada sifat kimia tanah akibat sistem tumpangsari, khususnya dalam hal kadar nitrogen total dan bahan organik.

Parameter	Awal (Rata-rata)	Akhir Monokultur Jagung	Akhir Monokultur Kedelai	Akhir Tumpangsari
pH (H ₂ O)	5,4	5,3	5,6	5,7
N-total (%)	0,12	0,10	0,15	0,17
Bahan Organik (%)	1,4	1,2	1,8	2,0
Kapasitas Tukar Kation	12,5	11,8	13,5	14,0

Peningkatan kandungan nitrogen dan bahan organik yang signifikan pada sistem tumpangsari menunjukkan bahwa keberadaan kedelai sebagai tanaman leguminosa memberi kontribusi positif terhadap tanah melalui fiksasi nitrogen dan penambahan biomassa akar serta guguran daun (Ladha et al., 2016).

Menurut Handayanto et al. (2013), tanaman leguminosa tidak hanya berperan sebagai pengikat nitrogen, tetapi juga berkontribusi dalam meningkatkan aktivitas biologi tanah dan memperbaiki struktur tanah. Dengan demikian, sistem tumpangsari jagung dan kedelai berpotensi sebagai strategi konservasi dan rehabilitasi lahan kering.

4. Implikasi Agronomis dan Ekologis

Dari segi agronomis, sistem tumpangsari memberikan hasil gabungan yang lebih tinggi serta menurunkan risiko kegagalan panen, karena diversifikasi komoditas dalam satu lahan. Hal ini sangat bermanfaat terutama dalam menghadapi perubahan iklim yang tidak menentu di wilayah lahan kering. Secara ekologis, sistem ini membantu menjaga kesuburan tanah, menekan laju erosi, dan meningkatkan daya simpan air. Menurut Kumar et al. (2018), integrasi tanaman leguminosa ke dalam sistem pertanian tidak hanya meningkatkan hasil jangka pendek tetapi juga memperbaiki kualitas tanah dalam jangka panjang.

5. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini hanya dilakukan selama satu musim tanam, sehingga belum mampu mengevaluasi dampak jangka panjang terhadap kesuburan tanah. Selain itu, belum dievaluasi pula pengaruh aspek mikrobiologis tanah yang mungkin berkontribusi terhadap perbaikan

tanah. Penelitian lanjutan dengan pendekatan multimusim dan analisis mikrobiologis disarankan.

1. panen secara total menunjukkan peningkatan produktivitas. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Saragih et al. (2022) yang menyatakan bahwa sistem tumpangsari serealia-leguminosa memberikan keuntungan agregat dalam hasil gabungan dan nilai ekonomis.
2. **Sistem tumpangsari memberikan dampak positif terhadap kesuburan tanah di lahan kering.**

Terjadi peningkatan kandungan nitrogen total, bahan organik, dan kapasitas tukar kation (KTK) pada tanah setelah penerapan sistem tumpangsari. Tanaman kedelai sebagai leguminosa berperan dalam fiksasi nitrogen melalui simbiosis dengan *Rhizobium* serta menyumbang bahan organik dari residu tanaman (Kumar et al., 2018; Ladha et al., 2016). Dengan demikian, sistem ini tidak hanya produktif secara agronomis tetapi juga berkelanjutan secara ekologis.

3. **Tumpangsari berpotensi sebagai strategi konservasi dan intensifikasi lahan kering.**

Penggabungan dua komoditas strategis dalam satu siklus tanam memungkinkan petani mengurangi risiko kegagalan panen tunggal, memperbaiki kesuburan tanah secara alami, serta meningkatkan efisiensi ruang dan waktu tanam. Oleh karena itu, sistem ini sangat potensial dikembangkan sebagai model pertanian adaptif berbasis konservasi sumber daya.

1. Saran

Berdasarkan temuan penelitian ini, berikut adalah saran yang dapat diajukan untuk pengembangan lebih lanjut:

1. **Perluasan adopsi sistem tumpangsari pada lahan kering secara terprogram.**
Pemerintah daerah dan penyuluh pertanian diharapkan mendorong penerapan sistem tumpangsari jagung–kedelai kepada petani di wilayah-wilayah lahan kering melalui pelatihan, penyuluhan, dan bantuan benih berkualitas. Kombinasi tanaman ini terbukti memberikan keuntungan produktivitas dan memperbaiki kesuburan tanah (Prasetyo et al., 2019).
2. **Diperlukan penelitian jangka panjang mengenai dampak tumpangsari terhadap kualitas tanah.**

Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengevaluasi efek kumulatif dari sistem tumpangsari terhadap kandungan unsur hara mikro, mikrobiologi tanah, serta dinamika

struktur tanah selama beberapa musim tanam. Seperti dinyatakan oleh Handayanto et al. (2013), keberlanjutan pertanian erat kaitannya dengan stabilitas biologis dan fisik tanah.

3. Pengembangan teknologi pendukung tumpangsari.

Diperlukan pengembangan alat tanam dan teknik pemupukan spesifik yang sesuai untuk sistem tumpangsari agar efisiensi kerja dan hasil panen lebih maksimal. Adaptasi mekanisasi pertanian terhadap sistem tanam campuran merupakan tantangan sekaligus peluang untuk pertanian presisi.

4. Integrasi dengan pendekatan pertanian organik atau konservasi.

Mengingat potensi leguminosa dalam memperbaiki tanah secara biologis, sistem tumpangsari dapat dikembangkan lebih lanjut dengan pendekatan pertanian ramah lingkungan seperti penggunaan pupuk organik, mulsa alami, dan pengendalian hama terpadu.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, D., & Setiawan, D. (2021). Sistem pertanaman adaptif lahan kering berbasis konservasi. *Jurnal Pertanian Lahan Kering*, 13(1), 45–52.
- Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). *Statistical Procedures for Agricultural Research* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Handayanto, E., Hairiah, K., & Utami, S. R. (2013). Peran leguminosa dalam meningkatkan kesuburan tanah. *Jurnal Agroforestri Indonesia*, 5(1), 1–10.
- Kasozi, L. C., Mpairwe, D. R., & Zziwa, E. (2019). Intercropping maize and legumes for sustainable crop productivity and soil health. *Agriculture & Food Security*, 8(1), 35.
- Kumar, V., Saharawat, Y. S., & Ladha, J. K. (2018). Enhancing soil fertility and productivity of rice–wheat cropping system through legume integration in the Indo-Gangetic plains. *Soil and Tillage Research*, 182, 104–115.
- Ladha, J. K., Reddy, C. K., & Pathak, H. (2016). Role of legumes in soil fertility and management of climate change. *Advances in Agronomy*, 139, 69–132.
- Prasetyo, B., Nurwahidah, N., & Yulianti, D. (2019). Efisiensi penggunaan lahan pada sistem tumpangsari jagung dan kedelai di lahan kering. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 24(2), 110–117.
- Saragih, S., Ginting, E., & Sipayung, D. A. (2022). Efisiensi penggunaan lahan sistem tumpangsari jagung dan kedelai pada berbagai jarak tanam. *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 10(1), 55–62.
- Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1993). *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Subandi, S., Sudarmaji, S., & Kuswanto, H. (2010). Evaluasi sistem tanam tumpangsari jagung–kedelai untuk meningkatkan efisiensi lahan dan hasil gabungan. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 29(3), 211–218.
- Sutedjo, M. M. (2002). *Kesuburan Tanah*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Wahyunto, W., Ritung, S., & Hidayat, H. (2015). Karakteristik, potensi, dan strategi pemanfaatan lahan kering di Indonesia. *Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian*.
- Willey, R. W. (1979). Intercropping—Its importance and research needs. *Field Crop Abstracts*, 32(1), 1–10.